



TITLE:

キクの育種に関する研究：特に,自家交配および花色の遺伝生化学的分析について(Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

河瀬, 晃四郎

CITATION:

河瀬, 晃四郎. キクの育種に関する研究：特に,自家交配および花色の遺伝生化学的分析について. 京都大学, 1975, 農学博士

ISSUE DATE:

1975-03-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r2763>

RIGHT:

辰
194 函
1-0

キクの育種に関する研究

1974

河瀬晃四郎

ギクの育種に関する研究

—特に、自家交配および花色の
遺伝生化学的分析について—

1974

河瀬晃四郎

目次

緒論 1

第1章 キク品種の偽総性に
関する調査 6

1) 緒言 6

2) 材料および方法 7

3) 結果および考察 9

(i) 品種について 9

(ii) 自殖後代について 19

第2章 キク品種の不和合性
に关する調査 37

1) 緒言 37

2) 材料および方法 38

3) 結果および考察 40

(i) KB系統の花粉活性 40

(ii) 相互交雑 43

第3章 自家交配後代におけ
る花色分離 51

1) 緒言 51

2) 材料および方法 52

3) 結果 55

(i) 母本植物として品種
を用いた場合 58

(ii) 母本植物として自殖
後代を用いた場合 62

4) 考 察 69

第 4 章 花色構成色素の定性
分析 80

1) 緒 言 80

2) 材料および方法 81

3) 結 果 82

(i) 花卉に含まれる色素
の定性 82

(ii) アントシアニン色素
の定性分析 88

(i) 塩酸抽出液が放置
された場合の色素
の変化 89

(ii) 塩酸濃度を異にする
メタノール溶剤
で抽出した場合の
色素変化 91

(iii) エタノールによる
色素抽出および色

	素変化に及ぼす展 開溶媒中の塩酸の 影響	92
(=)	色素 C の同定	95
(※)	色素 A, B の分析	97
(iii)	フラボノール系色素 の分析	107
(iv)	カロチノイド色素の 分析	110
(i)	分配試験	112
(ii)	けん化処理	112
4)	考察	116

第 5 章	花色とそれを構成す る色素の光学的分析	120
1)	緒言	120
2)	材料および方法	122
3)	結果および考察	123

第 6 章	花色発現に対する主 要色素の量的効果と 花色の測色	140
1)	緒言	140
2)	材料および方法	144

(i)	アントシアニン色素 の抽出, 定性, 定量	144
(ii)	カロチノイド色素の 抽出, 定性, 定量	145
(iii)	花色の測色	147
3)	結果および考察	148
(i)	供試品種における色 素の種類	148
(i)	アントシアニン色 素	148
(ii)	カロチノイド色素	153
(ii)	花色による品種の 区分	153
(ii)	カロチノイド色素お よびアントシアニン 色素の含量	155
(iii)	花色の数値的表現お よび数値的に表現さ れた花色と主要色素 の関係	162

第7章 花色発現に及ぼす温 度の影響

1)	緒言	172
----	----	-----

2) 材料および方法 174

3) 結果 177

(i) 生育に対する昼温、
夜温の影響 177

(ii) 花色に対する昼温、
夜温の影響 178

(iii) 色素含量に対する昼
温、夜温の影響 191

4) 考察 195

総括 200

文献 205

緒 論

今日、花卉生産において、キクの占める割合は非常に大きい。特に、切花では主位を占めているが、これは、キクの光同性等の開花生理が明らかにされ、開花調節ができるようになったためである。

また、長年にわたる品種改良の寄与するところも大きいといえる。バラ、カーネーションとともに開花の大きい花であるから、時代の進歩と生活様式の変化にとともなう新しい品種が要求されるわけであるが、今日のキクの新品種の育成は芽条変異と交雑育種によっている。

芽条変異は自然に生じる突然変異にたよっていた以前に比べ、最近では、 γ 線や、 X 線により人為的に突然変異が誘発できるようになり(13, 46, 58, 65)、新品种育成に多大の貢献をおさめている。

他方、交雑育種は、種々の栽培形態に適合した形質をもつ品種育成に

は必須な手段であるが、栽培ギクの成立があまりにも古く、その品種育成過程についての記載がないこと、品種が膨大な数に及ぶこと、また、遺伝的にヘテロ性が大であるため、交雑育種の過程において、草率、花型、花色などの形質には複雑な分離が観察されること等から、ギクの品種の諸形質に關する遺伝的研究はほとんどみられず、花色に關する二、三の報告がみられるにすぎない(43, 68, 70)。

また、ギクには不和合性が観察されている(70, 73, 74, 90)。この不和合現象は高等植物一般に広く見られるが、その遺伝現象がS複対立遺伝子により説明出来ることは、East(19)により、1928年にタバコを材料として始めて示された。それ以来、多くの植物について、その遺伝様式が摸索され、ギク科の植物では *Cosmos bipinnatus* (62), *Crepis foetida* (44), *guayule* (25) などの遺伝様式が明らかにされつつある。

しかし、栽培ギクは、過去、長年にわたる多数の交雑を経て成立した雑種型で、染色体数からみて、高次の倍数体であると同時に、多数の異数体を含育していることから（17, 21, 22, 90）、2倍体種にみられるような、個体群に純粹の同型的なものが存在すると考えられず、不和合性遺伝子が存在しているとしても、その遺伝現象を明確にすることは、かなりの困難さをもたうと思われる。

このように、ギクが遺伝的にヘテロで、草姿、花色とい、た諸形質の複雑な分離が生じ、それに加えて不和合現象が広く存在するため、今日の交雑による優良品種の育成過程には明確な規則性はなく、長年の経験による「カン」にたよって品種改良が行なわれている。かかる現象にあつては、育種過程にあまりにも大きな時間的、労力的犠牲を強いることになる。もし、Cosmos (87)等に見られる偽総性がギク品種にも観察されれば、雑種集団の遺伝子型を

分離，固定させてゆく最も直接的な操作である自殖を行ない，たとえば，キウの諸形質の完全な分離固定が不可能であつたとしても，遺伝的な優劣性が明らかになれば，交雑育種に寄与するところは大きい。

そこで，先ず，自家総性の有無およびその程度を調査し，自殖後代において分離する諸形質のうち，花色的をしばって観察することを目的とした。それに並行して花色発現にあずかる色素の分析，同定，および花色発現に及ぼす外的要因の分析を行なつた。

謝 辞

本研究の遂行にあたり，多くの方々の御指導，援助をいただいた。記して心より感謝の意を表する。

京都大学 塚本洋太郎 教授
同 浅平 端 助教授

同	植	木	邦	和	教	授
同	重	永	昌	=	教	授
明治学院大	学					
	大	沢	義	信	教	授
同	青	藤	規	夫	助	教
京都大学	学	菜	花	奇	研	究
					室	各
					位	

第1章 キク品種の偽稔性に関する調査

1) 緒言

自家不和合性を示す植物でも、自家受粉によって多少の結実がみられる場合が多く、それを偽稔性といっているが、舊偽稔性はその代表的な現象である。

キクが不和合性を示すことは、キクが高次の倍数体であり、異数体が多数存在しているという報告(17, 21, 22)から容易に推測されるが、丹羽(73)、下斗米(90)、Mulford(70)らは、自家、他家不和合性が存在することをも報告している。

キクの自家不和合性は、花が雄蕊の先熟であることにもよるが(74)、肉質的要因にもよるといふ報告もある(73)。

本章では、切花用品種を主体に種々の系統を供試し、偽稔性の有無、あるいはその程度について調査する。

ことを目的とした。

2) 材料および方法

供試材料には、アメリカで育成された切花用品種を主体に、日本の切花用品種、それに、肥後ギク、嵯峨ギク、伊勢ギクの古典ギク、花壇用小ギク、および野生ギクを用いた。いずれも、ほ場で栽培し、6月にさし芽を行ない、1品種につき、4〜9株を7月に定植し、摘心1回で3本仕立てとした。これらは発蕾前後からビニル屋根を作り、南花数日前から側面に白カンとイシヤを張り、防虫にそなえた。1茎当りの花の数はほぐろ花ずつとしたが、小ギク、古典ギク、および野生ギクは5〜10花とした。

交配のための準備として、3分咲きの頃に花弁を切り取り、袋かけをした。特に、切花用品種では、花粉の得られず、管状花が非常に少ないので、花粉採取用の花を準備

した。花粉採取用の花は花弁を切り取ったのうち、そのまゝ、袋かけを行ない、花粉が押し出されるのを待って花粉を採取し、交配に供した。

したが、て、ここで述べる自家交配は1花序内だけでなく、同一株上の花序同志の交配を含み、さらには同一品種の他株にある花序をも交配に用いた。

品種の自家交配は1962～1966、68年にそれぞれ行ない、1962年に得られた自殖や1代植物の自家交配は1964年に、1963年に得られた自殖や1代植物の自家交配は1965、1966年に、また、1966年に得られた自殖や2代植物の自家交配は1968年にそれぞれ行なった。

1964年には、ほ場植への状態、切花にした状態、および鉢植への状態で、自家交配を行ない、それらの穂実率を比較した。

3) 結果および考察

(i) 品種について

6年間にわたる自家交配の結果は、表1-1表に示した。

ここに供試した59品種(野生ギクも含めて)は、いずれも自家不適合性を示したが、どれも完全な不適合性ではなく、交配年次によってかなり総実率に差のみられる品種もあった。Aztec(セミダブルタイプで黄色花)は1968年に22.89%の高率の偽稔を示した。小ギク(4)(小輪アネモネタイプで黄橙色花)は1965年にのみ供試して、11.38%の偽稔を示したが、交配に用いた3ヵ花について、1花当りの種子数をみると、2~61%の範囲のばらつきがあり、他の品種と同様、花序あたりの総実率には、かなりの差がみられた。それと同時に数年間にわたって継続して供試した品種では年次によってかなり総実率にばらつきが観察され

才一表 キク品種の自家交配における segregating rate

品種名	花型	花色	segregating rate (%)			
			1962	1963	1964	1965
Americana	D	濃桃	15	0.13		
Apricot Princess	D	橙桃		0		
Aztec	S-D	黄	2	1.15	0.13	22.89
Barby Dark Chip	D	濃桃		0.29		
Blue Chip	D	淡紫桃	8	0.76	0.13	
Bridesmaid	D	濃桃	12			
Cherry Chip	D	濃桃紅	0			
Copperhead	D	朱橙	0	0.49	0.40	
Dark Blue Chip	D	紫桃	0			

Dark Orchid Queen	D	痕桃	0	1.92	0.14	0.07
Delaware	S-D	濃赤	21	0.04	0.01	
Detroit News	D	橙	1			
Feather Top	D	白	5		0.45	
Fred Shoemith	D	白	0			
銀窓	D	白			0.11	
Gold Top	D	黄	7		0.38	
Golden Herald	D	黄		0.04		
Golden Princess Ann	D	濃黄	0			
Good News	D	黄		1.16	0.07	1.35
Hialeah	D	桃		0.42		
Iceberg	D	白	292	0	0.40	0.13
Improved Albatross	D	白	0	17		

Indianapolis Bronze	D	赤	0	0	
Indianapolis Pink	D	濃桃	0	0	
交野桜	D	桃	0.11~25	0.07	0
小ヅク (A)	S-D	白		0.74	
小ヅク (G)	S-D	橙		11.38	
小ヅク (I)	S-D	赤		0	
Luyona	D	黄	0.68	0.25	
Maty Jo	D	白	1		
Mefo	D	白	0	0.08	
ミスヤマト	D	濃紫赤		0.13	0.11
Mrs. Roy	D	赤	0	0.08	
妙心	D	紫赤			0
Olyflamme	S-D	赤			0.17 1.89

乙 4 楼	D	淡 桃		0.02
Peach Chip	D	淡桃橙	18	
Pimocchio	D	白		0.19 0.25
Princess Ann	D	桃	0	0.05
Rose chip	D	濃 橙	0	0.83
Salmon Chip	D	橙 桃		0.67
Vedova	D	桃	0	
Vulcan	D	濃 赤	1	0 0
White Chip	D	淡 桃	0	
Yellow Chip	D	黄	0	0.77
Yellow Delaware	S-D	濃 黄	0	0.19
Yellow Leighton	D	濃 黄	3	
Yellow Mefo	D	濃 黄	0	0

肥後ギク

下月老人

S

黄

0.82

散紅葉

S

赤

0

御所草

S-D

赤

0

伊勢ギク

初桜

S-D

淡桃

0

佳人笑

S-D

淡桃

0

玉ノ光

S-D

黄

1.51

嵯峨ギク

峰ノ雪

D

白

0.08

横笛

S-D

淡桃

0

紅葉狩

S-D

橙黄

0.75

野生ギク

アブラギク (<i>C. boreale</i> Makino)	S	黄	0.02
エヒメノジギク (<i>C. ornatum</i> var.)	S	淡桃	0.48

※ S... シングルタイプ, S-D... セミダブルタイプ, D... ダブルタイプ

※※ 全種子数を示す。

※※※ 稔実率 (%) = $\frac{\text{1花当りの種子数}}{\text{1花当りの全小花数}} \times 100$

た。これらのことから、佐俣ら(87)がコスモスの偽総性に關して述べているように、S遺伝子以外に環境の影響を強く受ける別の genetic system がキウにも存在するよう思われる。さらに、これらの品種について、ほ場に地植の場合、はち植の場合、場合におよび切花にした場合の総性は表1-2表に示した。地植えあるいははち植えの状態で交配したオバ切花にして交配を行なった場合よりもわずかに総実率はよいという結果が得られたが、その差はわずかで、三者間には差は認められなかった。したがって、環境条件によつて総性が変化するという Lingら(61)、日何(39)、松原(66)らの例から判断すれば、はち植えあるいは切花として自由に移動出来るような環境条件を自由に、かつ容易に与えることが可能となるであらう。また、佐俣ら(87)は頭状花と摩擦するこによりコスモスやヤグルマソウの偽総性が高まることを

表 1-2 表 ぼ場植え, ぼち植え, あまふ切花とした
 状態で行った自家交配における総実率の
 比較 (1964)

品 種 名	総 実 率 (%)		
	ぼ場植え	ぼち植え	切 花 平 均
Americana	0.08	0.38	0 0.13
Apricot Princess	0	0	0 0
Aztec	2.23	0.40	0.22 1.15
Barby Dark Chip	0.25	0.75	0 0.29
Blue Chip	0.61	1.69	0.31 0.76
Copperhead	0.26	0.28	1.39 0.49
Dark Orchid Queen	2.66	1.38	1.33 1.92
Delaware	0.02	0.12	0 0.04

Golden Herald	0.05	0	0.05	0.04
Good News	0.18	0.92	2.27	1.16
Hialeah	0.66	—	0.20	0.42
Indianapolis Bronze	—	—	0	0
Indianapolis Pink	—	—	0	0
Mefo	0.05	0.25	0.05	0.08
ミズヤクト	0.18	0.18	0.04	0.13
Mrs. Roy	0.15	0	0	0.05
Pimocchio	0.04	0.38	0.16	0.19
Princess Ann	0	0	0.15	0.05
Rose Chip	0.99	0.61	0.58	0.83
Salmon Chip	0.43	—	1.29	0.67
Vulcam	—	—	0	0

Yellow Chip	0.83	1.06	0.62	0.77
Yellow Delaware	0.30	0	0	0.19
Yellow Mefo	0	0	0	0

$$\frac{\text{一花当りの種子数}}{\text{一花当りの純小花数}} \times 100 = \text{総交配率 (\%)} \\
*$$

報告したが、その
ような操作を行な
ったり、あるいは
他の操作を実験的
に試みることが容
易となろう。

(ii) 自殖後代に ついて

1962年の自家
交配によって得ら
れた Iceberg, Luyona
および交野桜の自
殖第一代はそれぞ
れ5, 17, 12個体
で、それらの196
4年における自家
交配の結果は、ギ
ャー3表に示した。
また、1963年の
自殖によつて得ら
れた Blue chip, Feath-
er Top, および交野

桜の自殖^オ1代は、それぞれ2, 1, および9個体で、それらの1965年および1966年にそれぞれ自家交配した結果もオ1-3表に示した。

さらに、1965年と1966年の自殖によつて得られた交野桜の自殖^オ2代の自家交配は1968年に行ない、結果をオ1-4表に示した。

1962年の自殖によつて得られた自殖^オ1代の花粉量はどの個体をとつてみても少なく、アセトカーミンによる染色率では、染色率が非常に低かった。交野桜のKA1はほとんど花粉の生成をみず、少数の花粉を観察したが、染色核をもつ花粉粒はほとんどみられなかった(写真1-1)。

花粉量の比較的多い個体について、1964年に自家交配を行なったが、総実率は非常に低く、KA4では5花を試し、ワコの種子が得られ、総実率は0.54%にすぎなかったが、この値は1964年に供試した自殖^オ1代個体の中では最も高い値であった。得られた種子を1965年には種した。

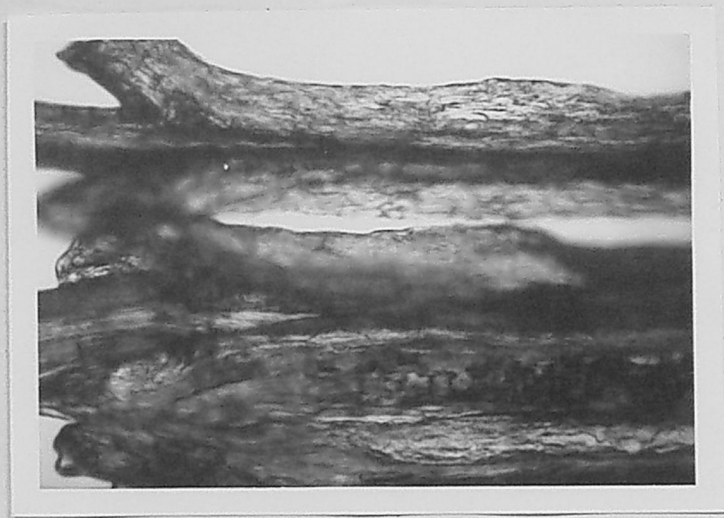


写真1-1. KAIの葯

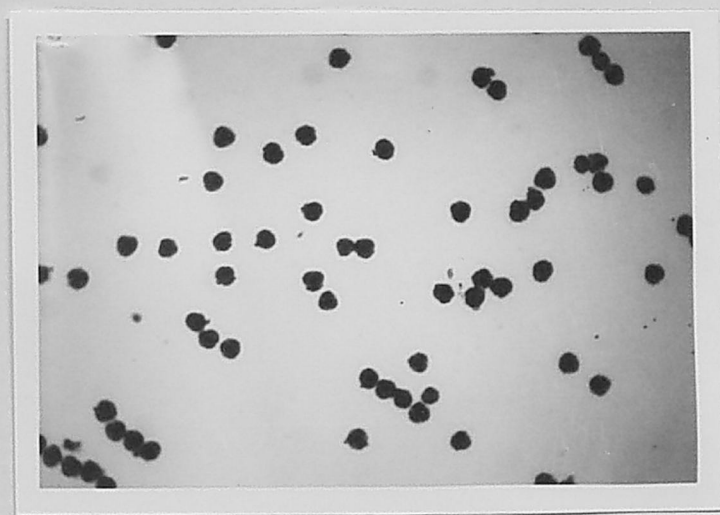


写真1-2. KB2の花粉(アセトカーミン
による染色)



写真 1-3. 交野桜



写真 1-4. KB2



写真 1-5. KB3



写真 1-6. KB4



写真 1-7.

KB5



写真 1-8.

KB6



写真 1-9. KB7



写真 1-10.

KB8



写真 1-11. KB 9



写真 1-12, KB 10

表 1-3 母本と自家交配系統の自家交配率、および母本とその自殖一代の花粉活性の比較

母本および系統名	花型	花色	実率 (%)			花粉染色率 (%)
			1964	1965	1966	
1962年自殖系統						
母本 交野 桜	D	桃	—			62.3
自殖後代 KA 4	S-D	淡赤・桃	0.54			76.7
" 5	D	白	0.03			51.0
母本 Iceberg	D	白	—			86.0
自殖後代 IA 4	D	黄	0			56.4
" 12	D	黄	0.30			12.4
" 13	D	黄	0.13			—

母本	Luyoma	D	黃	—	85.9
自殖後代					
	L A 3	D	黃	0	80.5
	" 5	S-D	黃	0	—
	" 8	D	黃	0.11	86.9

1963年自殖系統

母本	Blue Chip	D	桃	—	75.3
自殖後代					
	BB 1	S-D	桃	0.06	96.7
	" 2	S-D	橙黃	0.73	91.6

母本	Feather Top	D	白	—	72.5
自殖後代					
	F B 1	D	白	1.10	69.7

母本

交野桜

白殖後代

	D	桃	—	—	62.3
K B 2	S-D	淡桃	45.69	58.94	94.4
" 3	S-D	淡桃	—	7.10	96.6
" 4	S-D	白	20.98	16.90	87.4
" 5	S-D	白	4.24	1.64	96.3
" 6	S-D	白	34.83	40.34	86.9
" 7	S-D	白	1.81	1.85	92.5
" 8	S-D	白	0.50	4.90	91.2
" 9	S-D	白	1.27	0.66	96.1
" 10	S-D	淡桃	0.90	1.50	95.5

* S-D -- セミダブルIV, D -- ダブルタイプ

** 総果率(%) = $\frac{1 \text{花当りの種子数}}{1 \text{花当りの総小花数}} \times 100$

*** アセトカーミンによる花粉染色率, 1965年調査

が、1本の発芽もみられなかつた。

1963年の自殖によつて得られた Blue Chip, Feather Top および交野桜の自殖オ1代の花粉のアセドカーミンによる染色率をみたところ、Feather Top では母本と同程度の悪い染色率であったが、Blue Chip と交野桜では母本の染色率よりもよかつた(写真1-2)。

花型では、両系統とも母本がダブルタイプであるのに対し、自殖オ1代がセミダブルタイプとなつたことにもより(写真1-3~13)、自殖オ1代の花粉の生産量は母本よりも非常に多かつた。これらの自家交配を1965年に行なつたが、その総実率を再確認する意味で翌1966年にも行なつた。その結果、Blue Chip と Feather Top の自殖オ1代はいずれも自家不和合性を示したのに対し、交野桜の自殖オ1代のうち、3個体は非常に高い自家総実率を示した。この総実率は2年にわたる交配の結果からみて環境により偶発的に生じた総性ではなく、遺伝的にかなり安定した総性であるように推測

される。特に、KB2およびKB6が高い稔性を示し、花弁を切除したのち袋かけを行ない、人為的に受粉を行わねばなりでそのまゝ放置しておいてもかなりの数の種子が得られた。

さらに、1965年の自殖によって得られた自殖オ2代であるKB5Dの55個体の中から1個体、1966年の自殖によって得られた自殖オ2代（KB2Eは577、KB3E; 92, KB4E; 179, KB5E; 44, KB6E; 685, KB9E; 6, KB10E; 40）の各系統から花粉の多く生成されている個体を任意に選抜し、自家交配を行ない、たが、自殖オ1代で稔性の高かった系統、すなわち、KB2E、KB4EおよびKB6Eに稔性の高い個体がみられた。KB2E系統では、NO.2が22.39%の稔性を示し、他に10%以上の稔性を示す個体が3個体、KB6E系統ではNO.2が14.13%と高い稔性を示した。ここで供試した自殖オ2代の観察個体数は少数であったが、自殖オ1代系統に表われた高い自家稔性は明ら

表1-4 自殖才2代の花型, 花色
および花粉活性と自家交配
総実率 (品種, 交野株)

系 統 名		花 型 [*]	花 色	總 実 率 ^{***}	花粉染色率 ^{***}
				(%)	(%)
				1968	
KB2E	1	S	黄	1.05	82.44
	2	S	淡桃赤	0	70.62
	3	S	白	0	93.68
	4	S-D	白	12.65	87.09
	5	S	淡桃赤	5.51	95.38
	6	S-D	淡桃	6.62	86.46
	7	S	淡桃	1.74	83.91
	8	S	淡桃	10.28	52.36
	10	S	白	0	93.29
	11	S	淡桃	18.64	35.64
	12	S	白	22.39	89.92
	13	S	淡桃	0	96.88
	14	S	白	6.57	84.98
	16	S	淡桃	7.84	79.27
	17	S	淡黄	0	54.86
	19	S	淡桃	0.07	85.41
	20	S	白	2.01	85.00
	22	S	淡桃	1.37	82.15
	23	S	淡桃	3.48	76.95
KB3E	2	S	黄	0	45.92

	4	S	淡 桃	0.46	79.83
KB 4 E	1	S	白	0.61	86.57
KB 5 D	1	S	黄	0.12	93.97
KB 5 E	1	S	白	0.11	88.55
KB 6 E	1	S	淡 橙	0.15	87.32
	2	S	黄	14.13	93.16
	3	S	淡 橙	9.68	80.90
	4	S	黄	4.19	55.78
	5	S	白	0	38.02
	6	S	黄	4.73	59.19
	7	S	黄	0.05	89.30
	8	S	黄	2.18	87.83
KB 9 E	1	S	淡 桃	0.25	87.36

* S... シング"ルタイプ", S-D... セミダブルタイプ。

$$** \text{ 総実率 (\%)} = \frac{\text{1花当りの種子数}}{\text{1花当りの総小花数}} \times 100$$

*** アセトカーミンによる花粉染色率, 1968年に調査

かに自殖オス代に遺伝していると思われ。

偽総について, Atwood (3) は白クローバーを用いて, その遺伝性を詳

細に調査し、偽総性が量的な特性であり、それは additive gene によって決定されるが、母本ではその遺伝子のいくつかがヘテロであると推測している。佐俣ら(87)もコスモスの偽総に関する実験において、S 遺伝子以外に polygenic system の存在も推測しており、偽総性は環境条件の影響を強く受けるものであって、温度処理や、水分、養分の不足等の影響が大きい(66, 113, 114, 115)。しや光処理や剪枝、剪葉処理によっても総性が高められるという(42)。

他方、環境条件以外の要因により偽総性は高められる。白クローバーおよびコスモスではその頭状花を摩擦することにより偽総性が高まることが報告され(9, 87)、ペチュニアでは完全自家不和合性系統で偽自家和合性が完全に消失する開花3日前から繰り返し自家受粉(反復受粉)を行なうと、自家和合性がみられるという報告もある(38)。

自家和合性が additive gene 等の Pol-

xgemic systemにより支配されているとして、polygemic systemにより発現される生理的な面に対し、これらの操作がどのように関連づけられるかは現在、明らかにされてはいない。

キクの場合では、雄ずい先熟であること、品種が高度に発達したため、管状花が非常に少ないこと等、花器の構造上の特異性、あるいは交雑が繰り返されたため、異質倍数体となり、異数体が多数存在すること(21, 22)、高次倍数体でよく観察されるように受精能力の低下した生殖細胞が出現すること等が自家不和合性を引き起こす原因となっているものと思われるが、環境条件によって偽総性が大きく左右されることも明らかであり、polygemic systemの存在が推測される。

これとは別に、最近、数10種の植物について apomixis 現象が観察され、自然界では偶発的に、あるいは常習的にこの現象が生じていることが報告されている(104)。

本実験に用いたキクの自殖性1代のうち、高い稔性を示したKB2, 4および6について10月下旬に舌状花のみを供試して観察したが、いずれの系統においても、種子は形成されず、apomixis現象は認められなかった。

オ 2 章 キク 品 種 の 不 和 合 性 に 関 する 調 査

1) 緒 言

同型花柱花の場合、交配できるものと、交配できないものが形態的に区別できないため、その不適合性が先ず、現象形態としての遺伝現象から調べられた。不適合性は複対立遺伝子系によって説明され、遺伝情報としてはきわめて単純な差異によってその生理的反応が起きることが明らかにされた(40)。自家不適合性の遺伝様式、花粉管の伸長抑制場所、花粉の中の核の数等の調査が数多くの植物について行なわれたが、それは Brewbaker (12) により、sporophytic type と gametophytic type の 2 型に分類された。

キク科植物では、Hughes (44) が *Crepis foetida* を用いて、Gerstel (25) が *guayule* (*Parthenium argentatum*) を用いて、Crow (15) が

Cosmos bipinnatus を用いて、それぞれ
の不和合性遺伝を研究し、いずれ
も sporophytic type に属し、キク科に
共通した遺伝機構の存在が明らか
にされた。

下またま、偽総性の調査を行なっ
ていた際、交野桜の自殖オ一代で花
型や草姿が比較的良くそろい、しか
も、花粉量の多い系統が得られたの
で、それらの系統を用いて相互交雑
を行ない、キクにみられる不和合性
遺伝機構の解析を試みた。

2) 材料および方法

1963年、秋に自家交配を行なっ
て得られた交野桜の自殖オ一代(K
B系統)である9個体を供試した。

さし芽は1969年6月に行ない、
発根した苗を7月にほ場に定植した。
栽培管理は慣行法にしたが、行ない
、1株3本仕立てとし、1本当り
5~6花を残し、他は摘蕾した。

花弁が色付き始めたころ、ビニル屋根を作り、側面には白カンレイシヤを張って交配時の防虫にそなえた。KB系統の花はセミダブルタイプで、繖小花数は平均175.7、そのうち管状花数は平均113.2で、舌状花数は50~60であった。9個体のうち、KB2、KB4、KB6は自家和合性に近い自家総性をもつ個体であった。交配に当っては、除雄の午間を省くため、花弁を切除する際に管状花をすべて取り除いて袋をかぶせておいた。花粉採取用の花は舌状花を除去して袋をかぶせておいた。自家交配の場合には管状花のみを残す花と舌状花のみを残す花を設けた。

ここに供試したKB系統の9個体について、個体間の花粉活性を比較検討するため、(i) アセトカーミンによる染色(72)、(ii) ニトロブルーテトラゾリウム(NBT)による呼吸酵素反応(35)、および(iii) 人工培地上での花粉発芽力(53)を調査した。これら花粉活性調査のためには、

雌ずいによつて押し上げられた時点での花粉を供試し、(ii)における染色は室温で行なつた。(iii)のNBT反応は1969年11月には37℃で2時間、1970年5月には30℃で3時間、それぞれ水培養を行なつて染色率を算出した。(iv)の1969年11月に行なつた発芽試験はサツカロース25%、硼酸10ppm、テストステロン100ppmから成る人工培地で行ない、30~60分間室温培養を行なつた。

3) 結果および考察

(i) KB系統の花粉活性

ここに供試したKB系統には、前章の表1-3表に示したように比較的高い自家総性を示す個体があり、2年にわたる自家交配実験の結果から、その総性が環境等の外的要因によるものではなく、遺伝的な総性であることが明らかにされたが、このKB

系統の花粉活性をみると(表2-1表)、
1965年に行なったアセトカーミン
による花粉の染色率では、個体によ
る差異が認められず、その平均
値は93.0%であった。この平均値は母
本である交野梅の62.3%という染色
率に比べると非常に高い値であつた。

さらに、相互交雑を行なった。196
9年の11月と翌年の1970年の5月
に別の方法で花粉の活性を調査した。
それは、NBTによる呼吸酸素反応を
みるもので、Hauserら(35)がユリ
その他の植物の花粉の活性をみるた
めに用いた方法である。このNBTに
よる花粉の染色率はアセトカーミン
による染色率より全体に低い値とな
つたが、個体間に著しい差は認めら
れなかつた。

花粉活性に関連して、人工培地上
での花粉発芽率を調査し、その結果
を表2-1表に示した。KB系統の花
粉発芽率には4.81%から23.60%まで
の巾があり、平均11.54%であつた。
この発芽率を染色率と比較検討して

※2-1表 交野桜の自殖子1代における
花粉活性

系 統 名	染 色 率 (%)				発 芽 率 ^{***} (%)
	アセカーミン		N B T [*]		1969
	1965	1969	1970 ^{**}	平均	
KB 2	94.4	74.85	70.33	72.59	23.60
3	96.6	—	—	—	—
4	87.4	88.99	84.40	86.70	17.60
5	96.3	86.84	94.57	90.71	4.81
6	86.9	82.81	92.33	87.57	8.66
7	92.5	82.87	88.72	85.80	8.10
8	91.2	85.61	85.76	85.66	5.33
9	96.1	—	91.71	91.11	—
10	95.5	88.21	74.86	81.54	12.66
平 均	93.0	84.31	85.26	84.79	11.54

※ トロブルー・テトラソリウムによる呼吸酵素反応

※※ 春(5月)に調査, 他は秋(11月)に調査.

※※※ 培地組成: カルカロース, 25%, 硝酸酸, 10 ppm,
テストステロン, 100 ppm.

みると、NBTおよびアセトカーミンによる染色率の低いKB2で発芽率は最高の23.60%を示し、これとは逆に、染色率の比較的良いKB4とKB8で発芽率は低かった。

キクの花粉は人工培地の上では発芽しにくく、発芽率から直ちに花粉の活性度を推測することはできないが、柏熊ら(53)は品種について、染色率の高い個体は発芽率も高いという結果を報告している。しかし、本実験で用いたKB系統では、染色率と発芽率の間に明確な関連性は見い出せなかった。

以上の結果から、ここに供試したKB系統の9個体はアセトカーミンおよびNBTによる染色率からみた花粉活性の点でほぼ等しいものと推測される。

(II) 相互交雑

KB系統の9個体について、自家

交配も合めた相互交雑を行なうて得られれた総実率を χ^2 -2表に示した。

自家交配は小花を舌状花と管状花に分けて行なったので、両者について別々に自家総実率を示した。自家総実率は管状花の場合が舌状花のそれよりも高い傾向を示したが、KB4だけは舌状花の総性が高かった。

χ^2 -2表に示した自家交配も含めた相互交雑の結果をまとめると、 χ^2 -3表である。この結果によると、供試9個体はA, B, C, D, E, およびFの6階級に分類できた。これらのうち、A, C, Fは自家和合性を示したが、他は自家不和合性を示し、 χ^2 -1章の χ^2 -3表に示した結果と一致していた。Dに属するKB5, 8, および10は相互に不和合であり、FのKB4とも相互に不和合であった。他の階級に属するものは交雑和合の他にいすれも交雑不和合の組み合わせをもち、正逆交雑の結果の異なっているものがあつた。すなわち、AはA×Bが和合であつたが、その逆交雑

表2-2 交野稗の自殖や1代の相互交雑における総実率

	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8	KB9	KB10
KB2	41.2 [*] (47.1) ^{***}	60.6 ^{***} 3.3	62.7	74.8	46.2	63.6	62.7	59.3	47.2
3	0 ^{**}	(12.1)	0.5	39.4	0.9	0	31.3	0.8	18.6
4	46.8	53.4	21.9 (8.3)	2.9	82.5	41.0	1.4	74.5	3.4
5	72.3	77.5	0	2.3 (6.4)	66.6	66.2	0	73.4	0.7
6	28.0	50.0	74.7	70.2	24.1 (41.8)	57.8	69.1	49.2	45.6
7	42.5	51.0	51.6	59.0	49.5	2.3 (4.7)	49.7	0	51.4
8	47.8	46.5	2.6	0	43.8	46.4	0 (2.5)	54.8	0
9	35.6 ^{***}	64.1	72.8	77.7	45.5	2.7	69.5	5.8 (17.5)	74.0
10	59.7	64.6	4.2	0.8	56.1	71.1	2.4	(67.9)	0 (4.5)

※ () 内は管状花の総実率(%)を示す、
 ※※ 1花のみを供試、 ※※※ 2花を供試、

表2-3 交野桜の自殖第1代の相互交雑成績

♂ \ ♀		A	B	C	D			E		F
		KB 2	KB 3	KB 6	KB 5	KB 8	KB 10	KB 7	KB 9	KB 4
A	KB 2	F	F	F	F	F	F	F	F	F
B	KB 3	S	S	S	F	F	F	S	S	S
C	KB 6	F	F	F	F	F	F	F	F	F
D	KB 5	F	F	F	S	S	S	F	F	S
	KB 8	F	F	F	S	S	S	F	F	S
	KB 10	F	F	F	S	S	S	F	F	S
E	KB 7	F	F	F	F	F	F	S	S	F
	KB 9	F	F	F	F	F	F	S	S	F
F	KB 4	F	F	F	S	S	S	F	F	F

注. S: $0 < \text{総実率}(\%) \leq 20.0$

F: $20.0 < \text{総実率}(\%)$

である。B×Aは不和合であった。自家和合性を示したCはC×Bが和合で、B×Cが不和合であった。EはE×Bが和合で、B×Eが不和合であった。F

も E と同様 に、 $F \times B$ が和合、 $B \times F$ が不和合であつた。B は自家不和合であつたが、同じ自家不和合を示した D、E 階級のものと異なっており、B を母植物とした場合、D を除く他のすべての階級のものと不和合を示したが、その逆交雑である B を父植物とした場合は、D 階級のものも含めてすべての組み合わせで和合となつた。

以上の結果から、不和合性遺伝子を検討するために、キク科植物の不和合性遺伝子に関する仮説の適用を試みた。その 1 つは、Hughes は (44) が同じキク科の植物である *Crepis foetida* を供試して提唱した仮説で、(1) 花粉の反応は花粉自身の遺伝子型によるのではなく、むしろ、父植物の遺伝子型によって決定される。(2) 自家ならびに交雑不和合性には 1 系列の離反因子、 S_1 , S_2 , S_3 , および S_4 が関与してゐる。(3) 花粉においては、 S 系列の遺伝子間に優劣関係がある。(4) 雌蕊においては、 S 遺伝子間に優劣関係はみられない。(3) に

ついで説明を加えると、花粉における S_1 は、他の S_2 , S_3 および S_4 に対し劣性で、 $S_1 S_1$ のようなホモの時にのみ不和合性の反応を示す。 S_2 は S_1 に対し優性であるが、 S_3 および S_4 に対して劣性である。したがって、 $S_2 S_3$ あるいは $S_2 S_4$ の場合には S_3 あるいは S_4 によって反応が決定され、 $S_1 S_2$ の場合には S_2 が優位に反応する。すなわち、 $S_1 S_2 \times S_2 S_3$ においては父植物の $S_3 > S_2$ の関係から、その組み合わせは組合となり、その逆交雑である $S_2 S_3 \times S_1 S_2$ においては父植物の $S_2 > S_1$ の関係から不和合となると考えられる。なお、 S_3 と S_4 は S_1 , S_2 に対し優性であるが、 S_3 と S_4 の間には優劣関係はない。

これとほぼ同じ仮説が Gerstel (25) により、キク科植物である *quayule* を用いた研究で発表された。Crepis の場合と同様に、一系列の不和合性遺伝子 R_1 , R_2 , R_3 , および R_4 が関与しているが、花粉においては、 $R_2 > R_1 R_3 > R_4$ の優劣関係がみられるとい

う。その後、Crow (15) が *Cosmos bipinnatus* を用いて不適合性遺伝子进行研究し、前二者と同じ成績を得ていることから、この遺伝様式がキク科植物に共通しているように思われる。

本実験の結果を、この仮説によって説明することはできなかつた。その主な点は、(1) 9 個体の中には自家適合性を示すと思われるものがある、(2) B 階級に属する KB3 が特殊な反応を示している。すなわち、KB3 を母植物とした場合、D 階級を除いて他のすべての階級と不適合である。逆に、KB3 を父植物とした場合はどの階級とも適合性である。このことは、1 系列の離反因子ではとうてい説明できないことを示すものであり、それは、キクが高次の倍数体であることから推測されよう。

そして、(3) 花物の反応が gametophytic であるか、sporophytic であるかについてであるが、B に対して、A, C, E, および F が不適合を示し、

その逆が交雑和合であることは、
sporophytic な反応を仮定した方がよ
いと思われるが、花粉の S 遺伝子間
に優劣関係が存在するとして、A、
C、E、および F の相互交雑がすべて
和合性であることを説明するため
は B と A、B と C、B と E および B
と F のそれぞれ同士の相互交雑の結
果を考慮に入れた場合、sporophytic
であってはならないと思われる。

第3章 自家交配後代における 花色分離

1) 緒言

現在のキク栽培品種が過去、長い間に多数の交雑を経て成立した雑種型であるため、遺伝的にヘテロであることは一般に、よく知られていることである。したがって、花色や花型といった形質はもとより葉型や草丈といった諸形質の変異も大々あることは容易に推測される。ところが、Mulford (70) は自家交配を行なうてその後代における花色、花型、花の大きさといった形質の分離の大きさを報告している。

今日までの膨大な数に及ぶ品種は、長年の経験から生み出された「カン」に より交雑育成され、それらのほとんどが民間育種の成果であって、個々の品種の成立に關する正確な記載は皆無といってよいが、花色の遺伝に關しては、赤色が優性で、黄色

が劣性であるといわれ(68), 岡田(76)も, 経験的にアントシアニン系色素による赤, 桃, 紫などの花色が優性であろうと述べている。いすれもヘテロ性の高い品種での観察であり, その点では多くの肉題を残すとも考えられる。キクの場合, 数代の自殖で不毛個体が生じることはないにしても, 自殖後代における花色の分離を調査するにより, 花色の遺伝的傾向を把握することは可能であるように思われる。そこで, 本章では, 花色の遺伝に關する知見を得るため, 自家交配を行なうて得られた後代における花色の分離を観察し, 自殖後代とその母本の花色を比較することにより花色の遺伝を検討した。

2) 材料および方法

自家交配の結果は第一章で示したが, それらの中から, 自殖後代が比

較的多く得られた品種、あるいは個体数が少なくても花色の点で興味のあ
る品種を選んで、後代における花色
分離を調査した。1963年、交野桜
の自家交配によって得られた自殖マ
ー代(S₁)の個体中に、たまたま、
自家総性の高いものが存在し、その
自家総性が、さらに自殖後代に遺伝
していくことが推測されたので、自
殖3代目まで交配をかさね、花色分
離を調査した。

これとは別に、同じ1963年に
Blue chip の自家交配によって得られ
たS₁を1966年春、ファイトトロン室
で栽培し、自然交雑によって得られ
た雑種の花色分離が白色から黄色、
赤紫色と多岐にわたっていたので、
その個体群より白色、黄色、橙色、
赤色、赤紫色の各花色の個体を任意
に選び出し、その自家交配を行なっ
て、後代における花色分離を調査し
た。

各品種および自殖後代とも慣行法
によって普通栽培を行なった。

花色の調査は10~11月に行なった。
いずれも花色を白色花、黄色花、橙
色花、赤色花、桃色花の5グループ
に大きく分けて、視感的に判別し、
記載した。純粋な白色、あるいは蕾の
時、多少黄色味を帯びていゝが、開
花すると白色となつても白色花グ
ループとして、ごく少数の黄色花
濃い黄色まで、の個体を黄色花グ
ループとして分類した。橙色花グ
ループには赤味を帯びた黄色ある
いは、銅色といふ花色を含め、黄
色味の強い赤色は赤色花として分
類した。ごく少数の桃色から濃い
赤紫まで、の花色は桃色花グルー
プとして分類した。

1967年と1968年には、色差計
により花色の測色を行なつたが、個
体数の少ない場合は全個体に、個
体数の多い場合は、その系統内
で特徴があると思はれる個体の花
色についてのみ測色を行なつた。花
色の測色には外側の花弁が伸び
た時点の花序から最外列の花弁を

て供試し、各個体とも1花序、2花
弁について測色を行なった。

3) 結 果

品種として取り扱われている個体
の自殖後代に出現する花色の頻度を
表3-1表に示し、Blue Chip(赤紫色)
の自殖1代の自然交雑によつて得
られた雑種の中から、任意に個体を
選び、自家交配して得られた自殖1
代における花色分離を表3-2表に
示した。また、交野桜の自殖2代、
表3代における花色分離を表3-3、
4表にそれぞれ示した。

母本植物としてはいろいろな花色
の品種および自殖後代を供試したが、
それらを花色により、白色、黄色、
橙色、赤色および桃色の5グループ
に分け、また、自殖後代に出現する
花色も上記の5グループに分類して、
それらの出現頻度を示した。

表3-1 品種を母本とした自殖後代における花色分離

品 種 名	交配年次	自殖後代に分離する各花色の頻度					調査
		白	黄	橙	赤	桃	
<u>白色花グループ</u>							
Feather Top	1965	4			1		5
Iceberg	1962	10	6				16
"	1965	3	5				8
計		17	11		1		29
(%)		(58.6)	(37.9)		(3.4)		(100.0)
<u>黄色花グループ</u>							
Aztec	1964	1	31	6			38
"	1965			3			3
"	1966		6	1			7
"	1968		367	274	1		642
月下老人(肥後)	1965		4	5			9
Gold Top	"	7					8

Good News	1964	5	8	13
"	1966	2	2	4
Luyona	1962	10		10
計		8	299	1
(%)		(1.1)	(57.9)	(0.1)
			(40.7)	(100.0)

橙色花グループ

小ギク (4)	1965	20	341	34	395
計		20	341	34	395
(%)		(5.1)	(86.3)	(8.6)	(100.0)

赤色花グループ

Olyflamme	1966	5		5
"	1968		2	39
計			2	44
(%)			(4.2)	(91.7)
				(4.2)
				(100.0)

桃色花グループ

Blue Chip	1963	1		1
				2

Dark Orchid	1964	2	7	5	23	37
Queen						
野	1962	2		1	2	5
交	1963	6			3	9
"						
計		10	8	6	29	53
(%)		(18.9)	(15.1)	(11.3)	(54.7)	(100.0)

(i) 母本植物として品種を用いた場合

母本として用いた品種が、どの人な花の色で、あ、て、も、そ、の、自、殖、後、代、に、は、母、本、と、同、頻、度、花、色、の、最、も、高、か、っ、た、花、の、に、赤、色、を、用、い、た、場、合、は、品、種、後、代、に、出、現、す、る、頻、度、は、同、じ、高、く、赤、色、花、の、出、現、す、る、頻、度、は、91.7%、橙、色、花、の、出、現、す、る、頻、度、は、86.3%、で、あ、る、た、だ、し、両、者、と、も、供、試、し、た、の、は、1、品、種、の、み、で、あ、っ、た、。

他の花色く白色、黄色、および桃色)

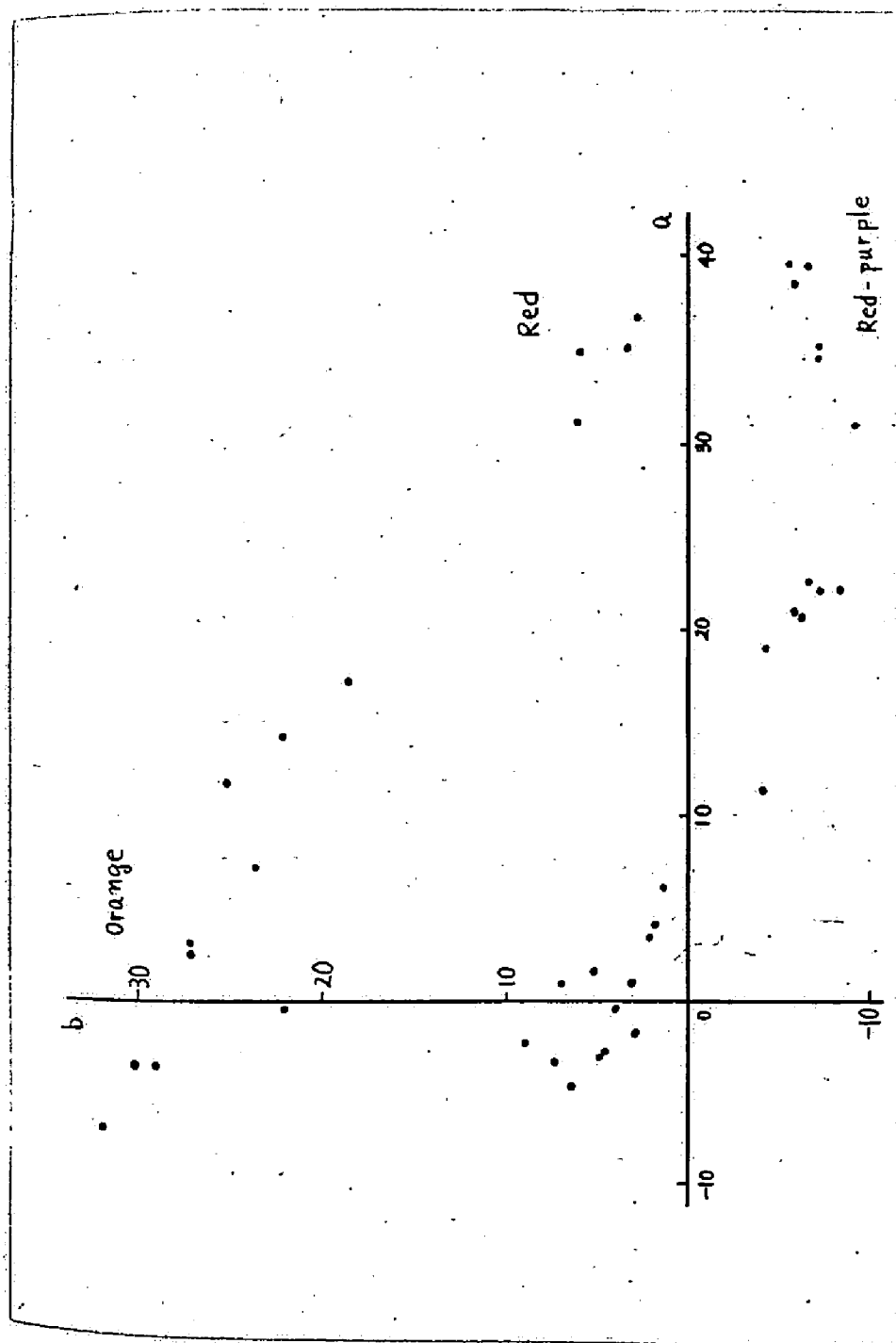
の品種を母本とした場合には、母本と異なる傾向がみられ、母本と同じ花色の出現する頻度は60%前後となつた。それら後代に分離してくる花色は母本の花色によつて異なつており、その分離する主な花色についてみると、白色花を母本とした場合は黄色花、黄色花の場合は橙色花、また、桃色花の場合には、白色、橙色および赤色の分離がおのづかの観察された。

ここで、個々の品種について後代の花色分離を詳述するなら、白色花の母本として用いた品種、Icebergは南花前の蕾のとき、あるいは、南花初期には多少黄色味があるが、満開時には白色となる品種で、後代にもよく似た花色の個体が多くみられ、その他に、濃黄色花や淡桃色花の分離もみられた。黄色花であるLuyonaの自殖後代には、母本と同じ黄色花の個体のみが出現した。同じ黄色花であるAztecは4年にわたり自家交配を行なつた結果、1964年に白色の個

体が出現した。Gold Top では母本と同じ黄色花の出現はみられず、白色花と淡桃色花の分離をみた。

本実験では、母本の花色を便宜的に5グループに分類したが、同一グループとして分類した中には、花色の明度(濃淡)、彩度の異なるもの(当然、花型等の諸形質も異なる)が含まれていた。その例として、桃色花グループが上げられる。品種、交野桜は淡桃色であるが、Blue ChipとDark Orchid Queenは赤紫色でかなり濃い花色である。したがって、同じ桃色花グループであっても、交野桜の自殖後代には濃い花色の個体の分離はなく、いずれも淡桃色花や淡桃赤色花で母本よりもうまい花色の分離のみをみた。

それに反し、Dark Orchid Queenでは全くの白色から濃赤紫色までの花色の分離がみられ、わずかに赤味のあつた黄色の個体(橙色花として扱う)や、暗赤色個体の出現をみたが、純黄色花や明るい赤色花の個体はみら



★3-1 図 Hunter色度図に示した品種, Dark Orchid Queenの自殖後代の分布

れなかつた (ヤ3-1 図)。

Blue chip の 1963 年自殖オ1代を
ファイトロン室で自然交雑 (ほぼ自
家受精に近い) をせしめ、得られた雑種
の中から任意にいろいろの花色を選
び出し、それらの自殖も行なった。
その結果、得られた後代の花色分離
はヤ3-2 表に示すように、局種を母
本とした場合の花色の分離とほぼ似
ており、白色花の母本からは白色花
の他に黄色花および桃色花、黄色花
の母本からは黄色花の他に橙色花
の分離をみたが、橙色花および桃色
花からはほぼ全花色の分離をみた。

(ii) 母本植物として自殖後代を用 いた場合

自殖後代の花色分離をみるために
は、先ず、自家稔性のある後代が得
られなければならぬが、後代にそ
うな個体の出現する頻度は、通
常かなり低い。また、稔性のある個

マ3-2表

品種, Blue Chipの自殖ヤ1代を自然交雑させ, 得られた
雑種ヤ1代の自殖後代における花色分離

自殖後代に分離する各花色の頻度 調査

系 統 名	白	黄	橙	赤	桃	個体数
<u>白色花グループ</u>						
B1D-8	27	11			11	49
計	27	11			11	49
(%)	(55.1)	(22.4)			(22.4)	(100.0)
<u>黄色花グループ</u>						
B2D-20	6					6
" 29		410	221	3	4	638
" 69		4	4			8
計	6	414	225	3	4	652
(%)	1 (0.9)	(63.5)	(34.5)	(0.5)	(0.6)	(100.0)
<u>橙色花グループ</u>						
B1D-11			2		1	3

"	15	2	1	3
"	20	6	3	9
"	22	3	1	8
B2D-36	1	1	1	1
計	1	5	10	5
(%)	(4.2)	(20.8)	(41.7)	(12.5)
				(20.8)
				(100.0)

桃色花 グループ

B1D-14	1	4	15	42	62
"	17			1	8
B2D-39	39	53	89	4	372
"	47	2	11	88	10
計	42	68	192	15	720
(%)	(4.1)	(6.6)	(18.5)	(1.4)	(69.4)
					(100.0)

体が得られても、調査の対象である
花色が多岐にわたっていることが望
ましい。

しかし、ここで用いられた交野桜
の自殖オー1代の花の色はいずれもごく
うすい桃色か、白色を呈していたが、
花粉量が多く、自家総性を認められ
たので、自家交配を続け、その後代
において分離してくる花色をその母
本の花の色と比較検討した。また、
Blue Chipの自殖オー1代は花粉量が多
いにもかゝらず、自家総性が認め
られなかつたが、花色が1個体は橙
色、他の1個体は赤紫色で、花色の
点で注目されたので、自殖2代目ま
での観察を行なつた。なお、赤色花
で総性のある個体は得られなかつた。
黄色花は交野桜の自殖2代目に自家
総性のある個体が分離してきただけで、
それを供試した。

これらの結果は、オー3、4表に示
した。自殖後代を母本とした場合の
その後代における花色分離は、品種
の自殖後代にみられる花色分離とほ

※3-3 表 自殖ヤ1代の自家交配によって得られた後代における
花色分離

系統名	交配年度	自殖後代に分離する各花色の頻度					調査 個体数
		白	黄	橙	赤	桃	
<u>白色花グループ</u>							
KB4 [*]	1965	175	100		4	4	283
"	1966	160	12		3		175
KB5	1965	15	39				54
"	1966	27	15				42
KB6	1965	81	119	29	88	19	336
"	1966	350	175	23	108	16	672
KB7	1965	9	19		2	1	31
"	1966	30	4		2		36
KB8	1965	6					6
"	1966	33	3	1	3	2	42
KB9	1965	7	7		1	4	19

1966	2	1	2	1	6
計	895	494	53	213	47
(%)	(52.6)	(29.0)	(3.1)	(12.5)	(2.8)
					(100.0)

橙色花 グループ

B B Z	1965	4	2	6
"	1966	3		3
計		7	2	9
(%)		(77.8)	(22.2)	(100.0)

桃色花 グループ

B B 1	1965			2	2
"	1966		3	1	4
K B 2	1965	104	7	138	191
"	1966	259	34	427	564
K B 3	1966	20	9	15	27
K B 10	1965	2			2
"	1966	15		8	5
計		400	50	591	792
(%)		(19.2)	(2.4)	(28.4)	(38.0)
					(100.0)

表3-3 表 (注) * KB系統 --- 品種, 交野稗の自殖後代,

** BB系統 --- 品種, Blue Chip の自殖後代.

ほぼ一致し、桃色花を母本とした場合に特に、後代の花色分離は多岐にわたっていた。もっとも、ここで自殖させた2代、3代における花色分離といっているが、花色についてみれば、厳密な意味では2代目までの花色分離をみているが、黄色花および橙色花では、1代目の花色分離をみており、桃色花のみが3代までの分離をみていることになる。しかも、交野稗の後代に濃黄色の個体は分離したが、赤色花および桃色花として区分した個体の花色はいずれもごくうすい色で、前者のほとんどは淡桃赤色であり、後者は淡桃色花の個体で占められていた。

今、後代における花色分離を母本の花色別に検討してみると、どの場合も、母本と同じ花色の出現頻度が最も高かった。白色花では自殖させた

表3-4 表 自殖や2代の自家交配によって得られた後代における
花色分離

系 統 名	自殖後代に分離する各花色の頻度				調 査 個 体 数
	白	黄	橙	赤	桃
<u>白色花 グルー7°</u>					
KB2E-4	40	28			5
" 12	62	47		11	10
" 14	16	61			
" 20	2	5		1	3
KB4E-1	2	1			
KB5E-1	2	1			
計	124	143		12	18
(%)	(41.8)	(48.1)		(40)	(6.1)
<u>黄色花 グルー7°</u>					
KB2E-1			7		
KB5D-1		3			
					7
					3

KB6E-2	1	142	20	163
"	4	41	3	44
"	6	27	7	34
"	7	1		1
"	8	8	8	16
計		222	45	268
(%)	(0.4)	(82.8)	(16.8)	(100.0)

橙花色 グループ

KB6E-3	37	81	118
計	37	81	118
(%)	(31.4)	(68.6)	(100.0)

桃花色 グループ

KB2E-5	1	1	12	14
"	7	22	7	3
"	1		11	50
"	8	5	15	15
"	12	2	32	44
"	12	13	8	102
"				147

16	2	17	1	4	12	36
"						
19					1	1
"						
22		1	2		3	6
"						
23		1			7	8
K83E-4					3	3
KB9E-1	1	1			6	8
計	23	60	26	19	204	332
(%)	(6.9)	(18.1)	(7.8)	(5.7)	(61.4)	(100.0)

※ KB系統 ... 品種、交配群の自殖後代

多離かの度といでも果桃をもっ果にはやす類花度大に、より
 の生そ色太報。同得花代続出少らり花多のそかこれX人
 花じ、れ出き告本様のの自わた頻違る分の現ぞた。は別に
 色、ぞ現、して験結、殖た結度、が、離種各頻れ
 分しれ頻こて、驗結、殖た結度、が、離種各頻れ
 別等に

Blue Chip f. 等がそれで、各 family は
いろいろの花色の品種から構成されて
おり、それらの花色変異はほとんど
どが周縁キメラによるものであること
が報告されていゝる(18, 97)。花色
変異が周縁キメラによるという他の
例として、カーネーションが知ら
れていゝる(83)。

Dowrick (17) はキク品種の染色
体数を調査し、family 内の花色変異
が染色体数の変化によるとしたが、
Sampson (88) は 10 の family に
ついで、染色体数を調査し、花色変異
が必ずしも染色体数の変化によるも
のではないことを示した。遠藤(22)
は、さらに多くの品種について花色
と染色体数の関係を調査し、判然と
した関連が認められなかつた。然し、
染色体数の増減が必ずしも花色と結
びつくほど、キクの花色が単純な遺
伝子構成によるものでないことを示
唆した。

突然変異により生じる花色の変異
ゆゑ、自殖後代における花色の分離

巾との間に密接な関連性が見いだされ
たわけだが、自家交配により生じた
3個体にあっては、遺伝子の新たな
組換えにより、量的にも質的にも突
然変異体より大きな変異が予期され
よう。これは作用遺伝子間のより複
雑な相互関係の結果にもとづくもの
と考えられる。

キクの花色を構成する色素はアント
シアニン色素およびフラボノール
系色素からなるフラボノイド色素と、
カロチノイド色素であるが(34, 56)、
品種にみられる花色はアントシアニン
色素とカロチノイド色素の量的な違
いにより連続的な変異を示す場合が
多く、したがって、花色が polygenic
system によって支配されていること
も明らかである。

Miyake (68) はキクの花色を(1)白
色、(2)紫紅色(アントシアニン色素に
よる)、(3)黄色(黄色のカロチノイド
色素による)、(4)橙赤色(アント
シアニン色素とカロチノイド色素によ
る)に分け、これら4型は2対の対

立す遺伝子によつて表示されるとした。
すなわち、赤色(C)に対する白色、
雑色体の白色(Y)に対する黄色(y)、
そして、紫紅色は2因子に關して優
性(CY)、橙赤色および白色は共
一因子に關して優性(Cy, cY)、
は2因子に關して劣性(cy)であ
るという。

ここで、この花色に關する遺伝子
型を自殖後代に於ける花色分離の結
果にもとづき検討してみた。(2)の紫
紅色が淡桃色から赤紫色で、純赤色
を含む銅色から赤色までの花色をも
含むグループとすれば、基本的には、こ
の2対の対立因子によつて説明が可
能である。すなわち、(1)の白色花グ
ループと(4)の橙赤色花グループとが
一因子に關し劣性ホモであるとする
ば、 $\times 3-1, 2, 3, 4$ 表の結果と
よく一致する。(3)の黄色花グ
ループを2因子とも劣性ホモである
とすれば、橙赤色花の分離を除いてほ
ぼ一致する。また、(2)の紫紅色花グ
ループ

プロモ赤色花を含まないグループとし、
2因子との結果とよく一致する。しか
本実験の結果とも木モとすれば、後代
し、両因子とも木モとすれば、後代
には紫紅色しか分離しないことにな
るが、本実験の結果からみると、キ
クがヘテロ性大である品種の中は、
て、栽培されている品種の中には、
木モ個体がほとんど存在しないか、
あるには不和合性遺伝子の発現によ
り、後代の花色分離が観察できな
いであろう。

さらに、アントシアニン色素形成
に關与する因子について、ヘテロ
の場合より、木モの場合に色素形成
が大である、すなわち、アンテナア
ニン色素含量は優性遺伝子の数に比
例する(47)、とすれば、(2)(4)のグ
ループで色素含量の異なる個体の分
離が説明できるであろう。

また、量的形質発現に關与する pol-
ygenic system の関与も、当然あると
考えられ、それらが環境要因、特に
温度、光といった要因に大きく左右

されるために、キウの自殖後代において分離してくる花色をより複雑なものにしていると推測される。

しかし、Miyakeらの2対の対立因子によるという仮説に加えて、polygenic system を考慮しても、細部に於いて説明出来ない花色の分離が存在している。すなわち、白色花から赤色花かよび桃色花、黄色花から橙色花、橙色花から赤色花、赤色花から桃色花がそれぞれ水分離している点である。前3例はアントシアニン色素が新たに形成されている場合であり、他は、カロチノイド色素が抑制されている例である。したがって、アントシアニン色素形成を支配する因子Cを補足するような別の因子(例えば、トレニア, Endo, 1962)を考える必要があるだろう。

他方、Mullford (70) は自殖後代において、赤色花が分離してこないことから、赤色花に属する遺伝子が他の花色の遺伝子により隠されているのではないかと述べ、Howard (43)

は赤色花発現に、肉よする遠伝子ほ赤色、橙赤色、赤紫色の花に存在するか形と報告すると、アントシアニン色素形成にもく76)、キク量のカロチノイド色素が存在しなければ、アントシアニン、カロチノイド両色素の含量に肉よする polygene の集積が必要となろう。

第4章 花色構成色素の定性分析

1) 緒言

キクの自殖後代には、花の色が、その場合、
る花は多岐にわたるが、そのものをと
遺伝形質として、花の色そのものを
り上げるところは、不適当で、その花
を構成する個々の色素をとり上げる
必要がある。したがって、花の色と含
有色素の関係を調べるため、花が発
現にあずかる色素の分析が必要とな
ってくる。

花卉類の色素分析に関する研究の
歴史は非常に古く、多数の報告がみ
られる。

キクの花に含まれる色素について
も、多くの研究者により、抽出、分
離、同定が行われ、フラボノイド
色素に関しては、Willstätter (109)、
Robinson (80)、林 (36)、Kuroda
 (60)、和田 (107) の報告が、カ
ロチノイド色素に関しては、Karrer

ら(51, 52)の報告がみられる。

その後、ペーパークロマトグラフィーの色素分析への応用がBate-Smith(5)によって確立されてからは、色素分子の細部構造の分析が可能となり、花色および色素の研究はさらに発展し、キクの花の色素に関して、新しい知見が得られてゐるが、いまだ不明な点が多い(20, 34, 48, 99)。

本実験では、このような観点からキクの花に含まれる個々の色素の構造分析をクロマトグラフィーの援用により詳細に行なつた。

2) 材料および方法

色素を抽出するために用ゐられたキクの品種は、主としてアメリカおよび我が国で育成された切花キクで、それらはほ場で、慣行法にしたがって栽培された。

色素分析には、ペーパークロマトグラフィー(PC)および薄層クロマ

ドグラフィー (TLC) を常用した。
PC には東洋口紙 (No. 50, 51) を使用し、TLC にはシリカゲル (Silica gel-G, Merck) およびセルロースパウダー (アビセル, ファコシ薬品) を使用した。

スペクトル、カーブの測定には、マルチパーパス自記分光光度計 (MP S-50 L 型, 島津) をはじめ、分光光度計 (QV-50 型, 島津), ダブルビーム分光光度計 (UV-200, 島津), 回折格子赤外分光光度計 (225 型, 島津) を適時, 使用した。

PC および TLC に用いられた展開溶媒は表 4-1 にまとめて示した。なお、個々の分析方法の詳細については、各項において述べる。

3) 結 果

(i) 花卉に含まれる色素の定性

含有色素の概略的な定性には主と

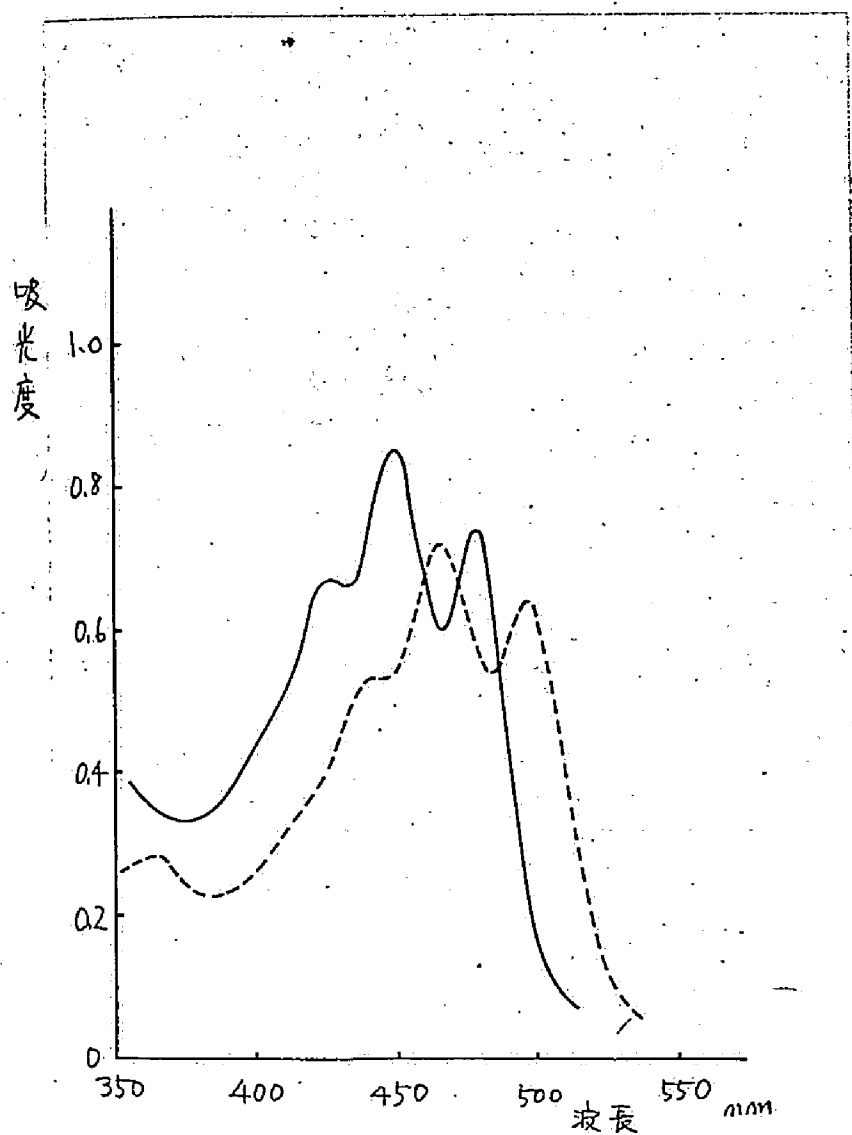
表4-1 色素類, および糖化合物の分離, 固定に
使用された展開溶媒.

略 号	組 成	混合比 (V/V)
BAW (612)	n-ブチルアルコール-酢酸-水	6:1:2
" (412)	"	4:1:2
" (415)	"	4:1:5
AHW (1)	酢酸-塩酸-水	15:3:82
" (2)	"	5:1:5
HW	1% 塩酸	
BH	n-ブチルアルコール-2N 塩酸	1:1
Forestal	酢酸-塩酸-水	30:3:10
Am HW	イソミルアルコール-塩酸-水	5:1:1
FHW	ギ酸-塩酸-水	5:2:3
BPW	n-ブチルアルコール-ピリジン-水	8:8:4
PBW	イソプロピルアルコール- n-ブチルアルコール-水	14:2:4
AcOH	15% 酢酸	
EPW	酢酸エチル-ピリジン-水	12:5:4
Phenol (1)	水飽和フェノール	
" (2)	フェノール-水	73:27
LA	石油ベンジン-アセトン	4:1
BM	ベンゼン-メチルアルコール	9:1
BE	ベンゼン-エチルアルコール	6:1

64

して、赤色花の品種である Delaware の花弁を用いた。この花弁の乾燥粉末（約 40℃ で乾燥）を、クロロホルムおよび二硫化炭素に浸漬し、色素を抽出すると、黄色の抽出液が得られた。その溶液の吸収スペクトルを測定した結果、450 nm 近辺にカロチノイド色素特有の三つの吸収極大（ λ_{max} ）を持つスペクトル・カーブが得られた（ Fig. 4-1 ）。また、この抽出液を濃縮し、得られた黄色色素を TLC により精製して、クロロホルム溶液を作り、濃塩酸を加えたところ、溶液は灰青色に変化した。これらの事実から、この色素をカロチノイド色素と同定した。

一方、Delaware、それに赤紫色花である 精興美山、および赤色花である Jetfire の花弁の乾燥粉末を 1% 塩酸 - メタノールに浸漬し、得られた赤色の色素溶液の吸収スペクトルを測定したところ、530 nm にただ一つの λ_{max} が認められた（ Fig. 4-2 ）。また、Delaware の花弁から得られた



※4-1 図 キフの花弁から抽出された黄色色素のスペクトル・カーブ

(——— クロロホルム 溶液)
 (- - - - - 二硫化炭素 溶液)

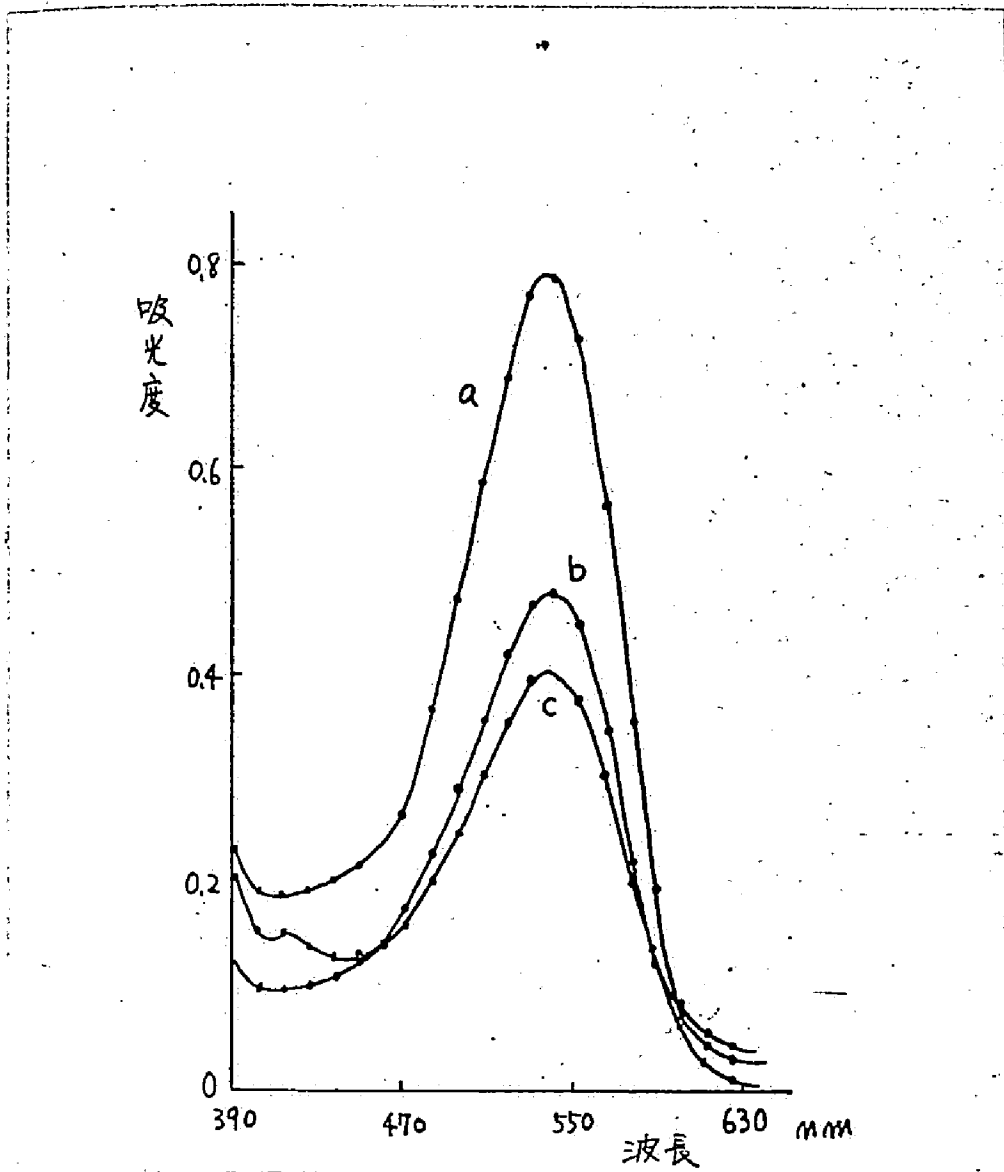


図4-2 図 キクの花弁から1%塩酸-メタノール
で抽出された赤色色素のスペクトルカーブ

(a: Delaware (赤色花), b: 精興美山 (赤紫
色花), c: Jetfire (赤色花).)

赤色の抽出液を希アルカリ溶液で酸性→中性→塩基性へとPHを変化させ、その色素液は赤色→紫青色→青緑色へと変化した。これらの色事実により、これをアントシアニン色素と特定した。

さらに、1%塩酸-メタノールで抽出された赤色の抽出液について、PCおよびTLCを行ない、得られたクロマトグラムにアンモニア蒸気および紫外線を当てたところ、黄緑色のスポットが多数認められたので、これらをフラボノール系色素と特定した。

(II) アントシアニン色素の定性分析

キクのアントシアニン色素は、Willstätter (109), Kuroda (60), 林 (36) により、Chrysanthemin (Cyanidin-3-glucoside) として分離、特定されている。しかし、予備実験によると、クロマトグラム上のRf値から、Chrysanthemin 以外のアントシアニン

色素の存在が推測された。そこで、この色素について詳細な分析を行った。

(1) 塩酸抽出液が放置された場合の色素の変化。

40°C で乾燥した Delaware の乾燥花弁を粉末とし、その少量を 1% 塩酸-メタノールに浸漬して色素を抽出した。その抽出液をろ過したのち、室内 (27~29°C) に静置し、その色素液の PC を行ない、クロマトグラム上のスポットの変化を観察した。

その結果は表 4-2 表に示した。クロマトグラム上に分離する主要色素スポットは 2~3 ユで、 R_f 値の高いスポットから A, B, C とすれば、抽出直後には A, B スポットが主体で、C スポットはこん跡程度であり、また、A スポットより B スポットの濃度が高かった。しかし、抽出後の日数の経過につれ、A, B, C スポットの濃度に変化が生じ、26 日後には

表4-2 1%塩酸-メタノールで抽出されたアントニ
ニン色素のスポットの濃度の変化

抽出後の日数	スポットの濃度		
	A*	B	C
直後	++	+++	±
1	++	++	+
3	+		++
11	+		++
26			+++

* クロマトグラム上のスポット, 展開溶媒 BAW (612).

A, B スポットが消失し C スポットの
のみがクロマトグラム上に認められ
るようになった。その後はいくら放
置しておいても C スポットに変化は
認められなかった。

、このようなクロマトグラム上での
スポットの変化は、抽出に用いた溶
剤中の塩酸により、キアの花弁に元
来、存在する色素の分子構造に変化
が生じたことを示すものである。

(b) 塩酸濃度を異にするメタノール溶剤で抽出した場合の色素変化。

キウのアントシアニン色素は、抽出溶剤中の塩酸により容易にその構造に変化が生じるものと推測されたので、塩酸濃度を異にした抽出溶剤も調整し、Delawareの乾燥花弁から色素を抽出し、その抽出液を1日、室内に放置したのち、PCを行ない、クロマトグラム上のスポットを比較した。

結果はヤ4-3表に示した。塩酸濃度がうすいとA、Cスポットは認められず、Bスポットのみが認められた。塩酸濃度が1%の場合、Cスポットの濃度はAスポットとほぼ同程度であった。塩酸濃度が0.1%では、その濃度はかなりうすかった。なお、このCスポットは同時に展開したchrysanthemin標品と同じRf値を示した。

表4-3 塩酸濃度も異なるメタノール溶剤で抽出されたアントシアニン色素のスポットの濃度の変化

抽出溶剤	スポットの濃度 および Rf 値		
	A [*]	B	C
1% 塩酸-メタノール	+ (0.34) ^{**}	+(0.25)	+(0.20)
0.1% "	+(0.34)	+(0.25)	± (0.20)
0.01% "		+(0.25)	
0.001% "		+(0.25)	
<u>標品</u>			
Chrysanthemin			0.20
Cyamin			0.06

* フロマトグラムのスポット, 展開溶媒 BAW (612).

** Rf 値

(ハ) エタノールによる色素抽出および色素変化に及ぼす展開溶媒中の塩酸の影響

品種, 精興美山の乾燥花弁を80%エタノールに約30分間浸漬し, 得られた抽出液を濃縮すると, 赤紫色の

シロツブ状の抽出物が得られた。これを酢酸エチル、イソプロパノール、エタノール等種々の有機溶媒により可溶性物質を除去して精製すると、黒紫色の粉末状の色素が得られた。これを、展開溶媒 BAW (612) を使用して PC を行なったところ、一つのスポットのみに色素が認められた。そこで、かりにこの色素を D とした。この粉末状色素をさらにマスパーパークロマトグラフィー (MPC) により BAW (612) を用いて精製した。

これとは別に、同じ花卉より 1% 塩酸-メタノールでアントシアニン色素を抽出し、同様に MPC で精製し、A, B, C の各スポットに相当する色素を別々に得た。これら、色素 A, B, C, D を試料として、塩酸を含まない展開溶媒である BAW (415) と、塩酸を含む展開溶媒である AHW (1) HW, BH とを用いて PC 分析を行なった。

その結果は表 4-4 表に示した。エタノールで抽出された色素 D は、B

※4-4表 キクのアントシアニン色素、と標品のRf値

色素	Rf 値			
	BAW(415) [*]	AHW(1)	HW	BH
<u>キクのアントシアニン色素^{※※}</u>				
A	0.39	0.37	0.11	0.49
B	0.30	0.33	0.10	0.35
C	0.26	0.28	0.07	0.22
D	0.30	{ 0.37 0.34 0.28	0.10	{ 0.49 0.36 0.22
<u>- アントシアニン標品</u>				
Chrysanthemin	0.25	0.28	0.08	0.22
Cyanin	0.10	0.41	0.17	0.06

* 展開溶媒 (※4-1表参照)

※※ { A, B, C --- 1% 塩酸 - メタノール抽出
D --- エタノール抽出

AW (415) で展開すると、一つのスポットのみが認められ、それは色素Bに等しいRf値を示したが、他の塩酸を含む展開溶媒を使用したクロマトグラム上では、三つのスポットとなり、それらは塩酸で抽出された場合のA, B, Cに等しいRf値を示した。

以上の結果は、エタノールで抽出された色素Dが展南溶媒に含まれる塩酸によって三つの色素に変化することを示している。なお、色素DはBとほぼ同じが、近似の化学構造を持つと考えられる。また、標品とのRf値の比較から、色素Cは *chrysanthemim* であると推測される。

(二) 色素Cの同定

先の実験結果から、色素Cは *chrysanthemim* と推測されたが、ここで、色素Cについて、さらに詳細な分析を試みた。

先ず、色素Cのアグリコンを同定するために、Delawareの花弁から、1%塩酸-メタノールで抽出された色素の粗抽出液を20%塩酸で3分間、加水分解したのち、MPCで精製し、PCによるRf値およびスペクトル特性を *petunidin*, *malvidin*, *cyanidin* の標品と比較検討した。

また、粗抽出液をそのままMPCに

表4-5 色素Cのアグリコンとアグリコン標品の
Rf値および薄層クロマトグラムの色

色 素	呈色*	Rf 値			
		Forestal**	AHW(2)	AmHW	FHW
色素Cのアグリコン	赤紫色	0.56	0.38	0.55	0.22
<u>標品</u>					
Petunidin	淡紫色	0.54	0.33	0.35	0.19
Malvidin	“	0.71	0.45	0.41	0.27
Cyanidin	赤紫色	0.56	0.38	0.55	0.22

* 可視光による紙上の色

** 展開溶媒 (表4-1参照)

より精製し、色素Cのスペクトル特性を chrysanthe-min および cyanin のそれと比較した。

結果は表4-5, 6表に示した。これによると、アグリコンのRf値、およびスペクトル特性は、色素Cのアグリコンが cyanidin であることを示した。また、配糖体である色素Cはそのスペクトル特性から、chrysanthe-min と同定された。

(ホ) 色素 A, B の分析

これまでの結果から、色素 A, B は色素 C (chrysanthemin) の誘導体であると推測されるが、さらに、色素 A, B の化学構造を検討するために、それらのスペクトル特性を調査した。

色素は Delaware の花卉から 1% 塩酸-メタノールで抽出され、色素 A, B, C は別々に MPC により精製されたのち、スペクトル測定用の試料とされた。

スペクトル測定の結果は表 4-7 表に示した。色素 A, B, C の各 λ_{\max} および $E_{440}/E_{\lambda_{\max}}$ の値は chrysanthemin のそれに全く等しく、さらに、 $-AlCl_3$ による λ_{\max} の移動も認められることから、色素 A, B は chrysanthemin と基本的にはほとんど等しい化学構造をもつが、スペクトル特性には影響を示さず、クロマトグラム上で R_F 値を変えような未知の物質がその位置に結合していると推測される。

一方、前述のように、塩酸を含む

表4-6 表 キクのアントシアニン色素 C と C のアグリコン
および標品のスペクトル特性

色 素	吸収極大(λ_{max}) [*]	$E_{440}/E_{\lambda_{max}}$ (%)	AlCl ₃ ^{**}
<u>キクのアントシアニン色素</u>			
C	531	23.6	+
C のアグリコン	541	21.0	+
<u>標品</u>			
Chrysanthemin	531	23.8	+
Cyanin	527	13.5	+
Petunidin	549	18.0	+
Malvidin	548	20.0	-
Cyanidin	541	21.0	+

* 0.01% 塩酸-メタノール溶剤

** 5.0% AlCl₃-エタノール溶液

色素抽出液中で、色素 A, B は chrysanthemin に変化していくが、ここで、色素 A, B が chrysanthemin に変化していく過程を PC を行ない、観察した。

色素の配糖体の分析手段としてよく用いられる部分水解(1)を色素 A, B について行ない、そのスペクトル

※4-7表 キクのアントシアニン色素 A, B, C と
標品のスペクトル特性

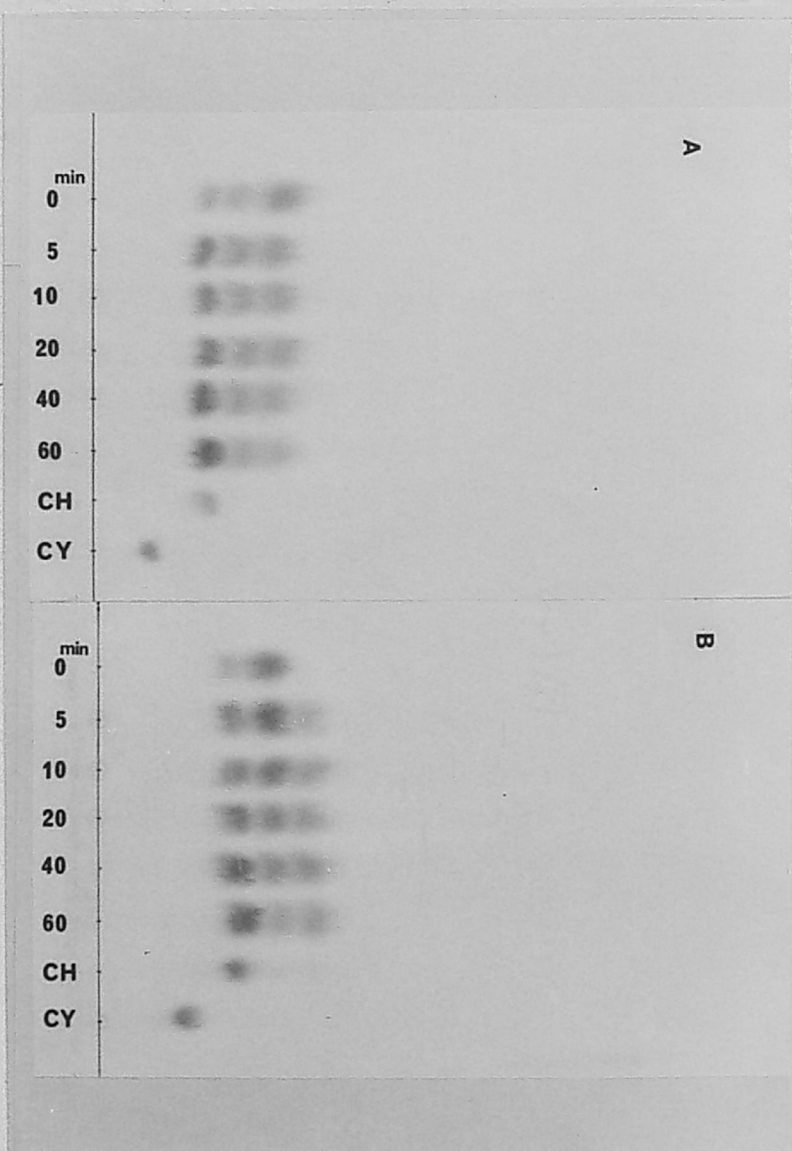
色 素	吸収極大(λ_{max}) [*]	$E_{440}/E_{\lambda_{max}}$	AlCl ₃ ^{**}
<u>キクのアントシアニン色素</u>			
A	531	22.6	+
B	531	22.4	+
C	531	23.6	+
<u>標品</u>			
Chrysanthemin	531	23.8	+
Cyamim	527	13.5	+

※ 0.01% 塩酸-メタノール溶剤

※※ 5.0% AlCl₃-エタノール溶液

ル測定用の試料のうち、色素 A, B, C
を 5% 酢酸-メタノールに溶かし、
塩酸濃度が 3% になるよう塩酸を加
え、50℃ の温湯上で加水分解を行な
った。加水分解開始から 5, 10, 20,
40, 60 分後に、それぞれ色素溶液を
取り出し、展開溶媒 BAW(4/5) を用
いて PC を行なった。

そのクロマトグラムを※4-3図に
示した。色素 A, B は MPC によりほ



※4-3 図

部分水解によるキクアクトミン色素 A, B の

ペーパークロマトグラム

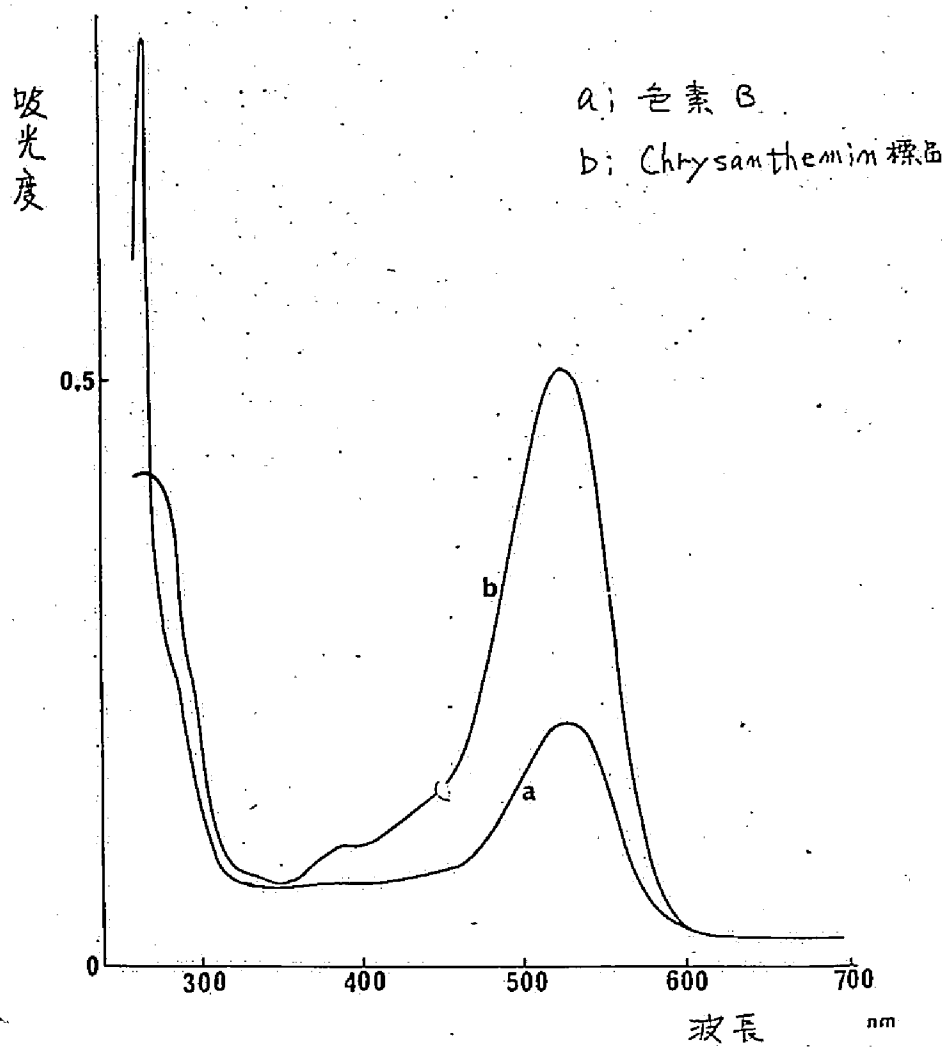
展開溶媒

BAW (4:1:5)

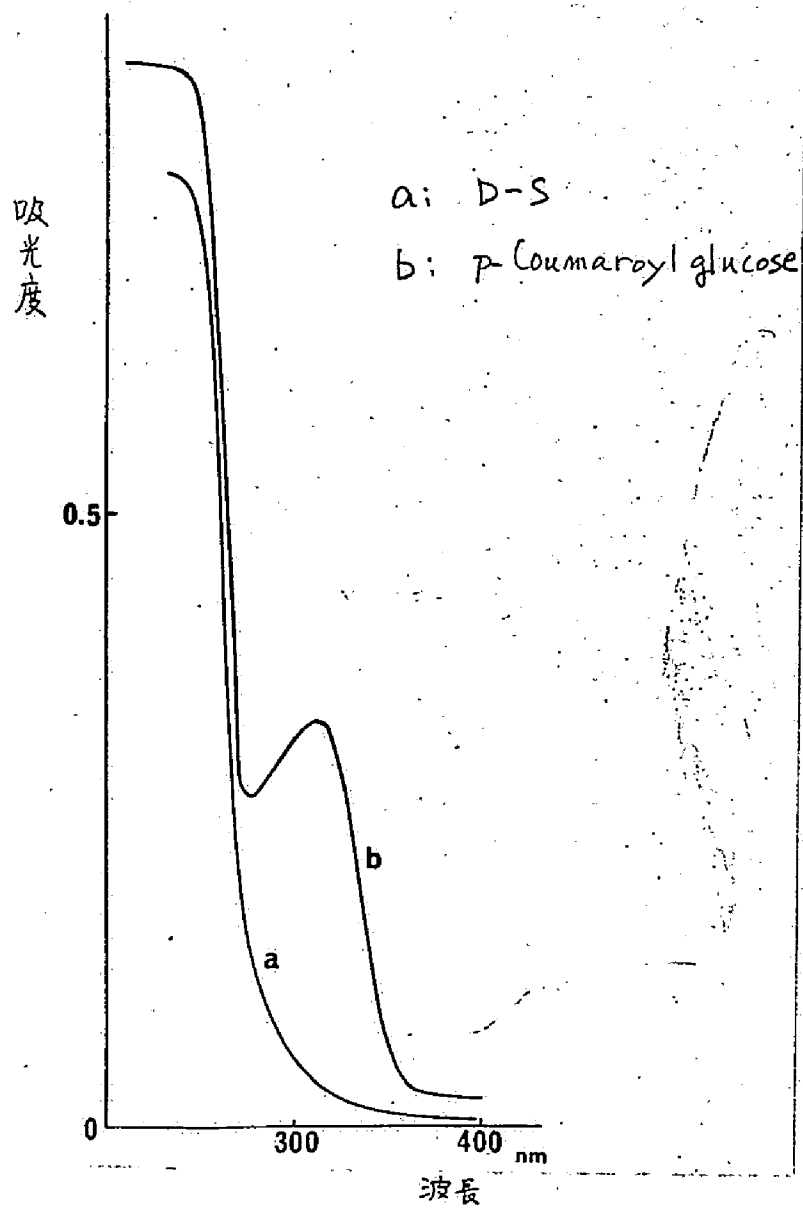
CH: Chrysanthemum 抽出液

CT: Cyanin

抽出液



※4-4図 キクのアントシアニン色素 B と chrys-
anthemim のスペクトル・カーブ



※4-5図 キクのアントシアニン色素Bの過酸化水素分解によって得られた還元物質(D-S)のスペクトルカーブ。

※4-8表 キクのアントシアニン色素 B から
得られた還元物質(D-S)と糖標品の
Rf値

糖と還元物質	Rf 値			
	BPW [*]	PBW	EPW	BAW(415)
D-S	0.14	0.06	0.02	0.17
Glucose	0.47	0.31	0.18	0.19
Sophorose	0.36	0.17	0.08	0.10
Cellobiose	0.33	0.14	0.08	0.10
Trehalose	0.32	0.18	0.07	0.10

※ 展開溶媒 (※4-1表参照)

方法で得た色素 B を、さらに MPC で精製し、そのスペクトルを測定した (※4-4図)。同様の試料を常法により過酸化水素分解 (101) し、得られた還元物質 (D-S) を MPC で精製した。その試料の UV スペクトル・カーブを ※4-5図に、PC を行なった分析結果を ※4-8、9 表および ※4-6図に示した。

展開溶媒 (※4-1表)

1: BPW

2: PBW

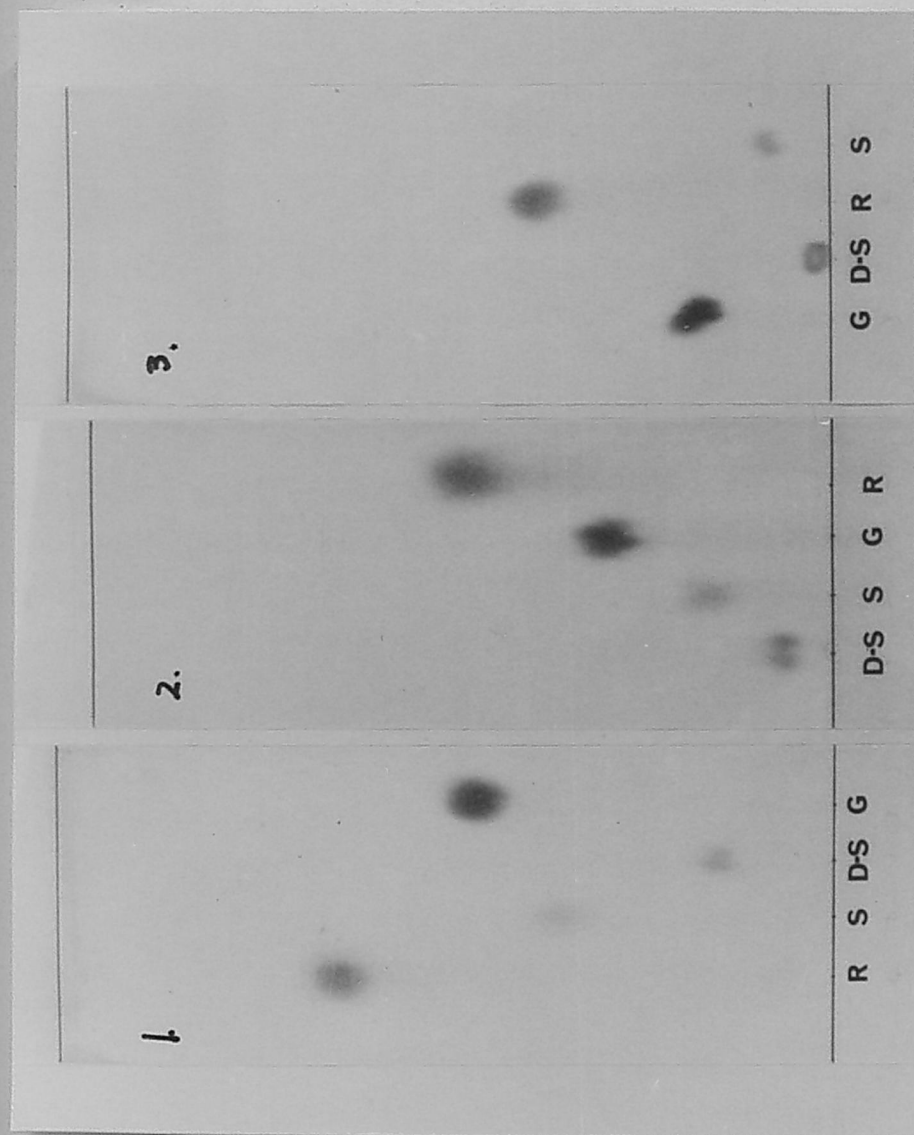
3: EPW

糖標品

R: Rhamnose

S: Sophorose

G: Glucose



※4-6 図 色素Bから得られた還元物質 (D-S) と糖標品のクロマトグラム。

オ4-9 表 キクのアントシアニン色素 B から得られた還元物質と glucosamine 類の Rf 値および呈色反応

Glucosamine 類 と還元物質	Rf 値		呈 色	
	BPW*	PBW	Ninhydrin**	Elson-Morgen
D-S	0.10	0.09	±	-
Glucose	0.43	0.35	-	-
Glucosamine-HCl	0.36	0.25	Purple	Red
N-Acetyl-D-Glucosamine	0.54	0.45	Purple	Purple

* 展開溶媒 (オ4-1 表参照)

** 呈色試薬

P-Coumaroyl glucose のスペクトルカーブには, P-Coumaric acid による吸収が 310 nm 付近に認められたが, 色素 B および D-S のスペクトルカーブには, 有機酸によると思われる吸収は認められなかった。

D-S を硫酸で加水分解した場合, 糖として glucose のみが発出されたので, 数種類の展開溶媒を用いて,

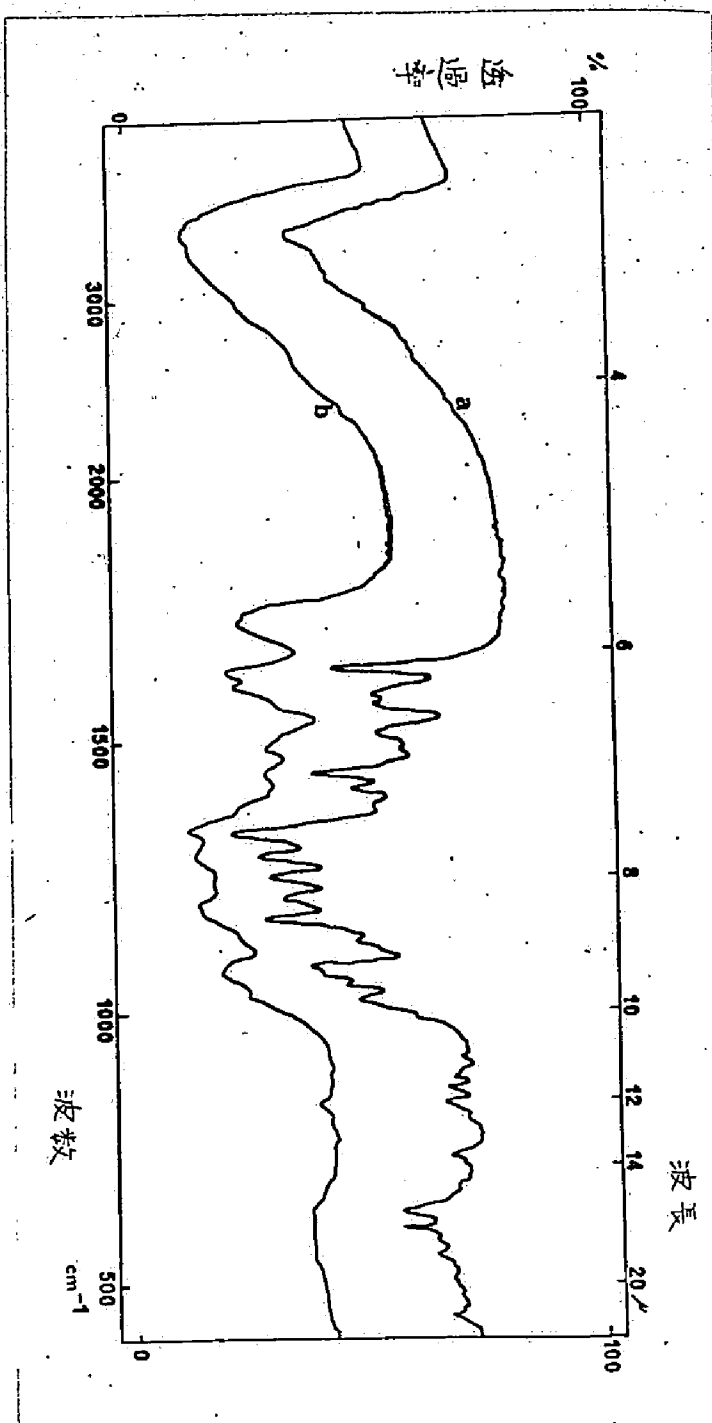
sophorose, cellobiose, trehalose, glucosamine-HCl, N-acetyl-D-glucosamine の標品と一緒に D-S の PC を行なう。だが、D-S の Rf 値はそれらのいずれにも一致しなかった。

さらに、色素 B の 3 の位置に結合していると思われる D-S について検討を加えるため、上述と同じ方法によって得た色素 B の IR スペクトルを測定した (オ 4-7 図)。

その結果、chrysanthemin のスペクトル・カーブには認められないう 1720^{-cm} の吸収が D-S のスペクトル・カーブに認められた。この 1720^{-cm} の吸収は carbonyl group によるもので、色素 B に carbonyl group の存在が推測された。

(iii) フラボノール系色素の分析

キク花卉から 1% 塩酸-メタノールで抽出した粗抽出物について、2 次元の PC を行ない、そのクロマトグラムにアンモニア蒸気および紫外線



※4-7 図 キクヨウアザミの色素 B と Chrysanthemum 標品の IR スペクトル。

を当てると多数のスポットが検出され、それらがフラボノール系色素であることも、先に確認したが、キフの花のフラボノール系色素に関する研究は少なく、acacetin, apigenin, および quercetin が同定されているにすぎない (33, 34, 107)。本実験では量的に多いアグリコンの同定を試みることとどめた。

乙女桜から突然変異によって生じた赤花種の花弁の乾燥粉末を1%塩酸-メタノールに浸漬し、得られた色素抽出液を濃縮して、BAW (612) を用いてMPCを行ない、4部分に分画した。それぞれの分画を10%硫酸で1時間30分、沸水上で加水分解を行なって、アグリコンを得た。そのアグリコンと一緒に、kaempferol, apigenin, luteolin, quercetin の標品のTLC (セルロース・パウダー) を行ない、クロマトグラムにアンモニア蒸気および紫外線を当てて呈色反応およびRf値を比較検討した。

その結果、分画(2)から luteolin が、

(3), (4) から apigenin がそれぞれ同定された(表4-10表)。

(IV) カロチノイド色素の分析

キクの花弁に含まれているカロチノイド色素の分析は, Karrer (51,52) によつて行なわれ, taraxanthin, chrysanthemaxanthin が抽出, 同定されているが, 最近, 篁ら (48) は定性反応実験により, 赤色系品種(桃色花品種を含む)にカロチノイド色素が存在しないと報告しているが, 先の定性実験ではカロチノイド色素の存在が確認された。

そこで, 菊色花品種である Aztec の生花弁から, 石油ベンジン, アセトン混液(4:1, $\frac{1}{2}$)で抽出した色素溶液を濃縮し, 以後の分析の粗試料とした。この粗試料についてシリカゲルの TLC を行なうと, 主要色素として10コ以上のスポットが検出された。そのクロマトグラムおよびその Rf 値は表4-8図に示した。

※4-10 表 キクのフラボノール系色素のアクリ
コンと 標品 アグリコンの Rf 値 および 呈色反応

色 素	Rf 値		呈 色***	
	Aco H *	BAW(612)	UV **	UV+NH ₃
<u>キクのフラボノール系色素</u>				
2	0.04	0.83	B	YG
3	0.07	0.96	B	YB
4	—	0.95	B	YB
<u>標 品</u>				
Kaempferol	0.07	0.90	Y	Y
Apigenin	0.07	0.96	B	YB
Quercetin	0.04	0.66	Y	Y
Luteolin	0.04	0.83	B	YG

* 展開溶媒 (※4-1 表参照)

** UV --- 紫外線, NH₃ --- アンモニア蒸気

*** B --- Brown, YG --- Yellow Green,
Y --- Yellow, YB --- Yellow Brown.

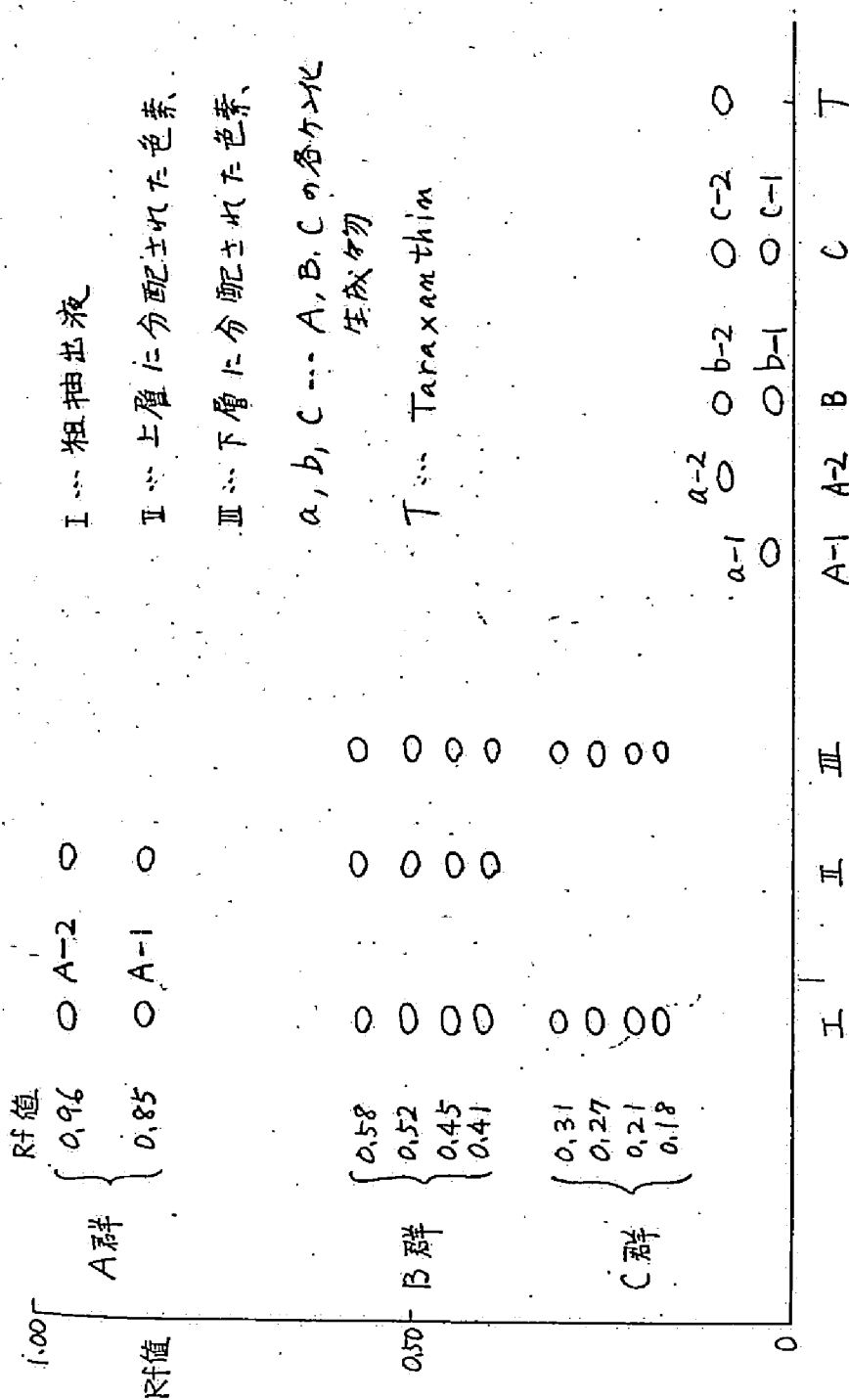
これら 10 コのスポットは、R_F 値の近似性から 3 群に分けられ、R_F 値の高い群から A, B, C とした。以後、これらの色素群を単位として分析を行なった。

(イ) 分配試験

濃縮された粗試料を石油エーテルに溶かし、90% メタノールを等量加えてよく振とうし、静置すると 2 層に分離し、上層と下層はともに黄色であった。両層を別々に濃縮し、TLC を行なった結果を Fig. 4-8 図に示した。A 群は上層に、C 群は下層に分配されたが、B 群は両層に分配されていた。

(ロ) けん化処理

通常、花弁等に含まれているカロチノイド色素は脂肪酸とエステル結合をしており、また、抽出に際して chlorophyll や sterol 等が混入し、



4-8図 キクのカロチノイド色素の粗抽出液，上層，下層に分配された色素，けん化生成物および Taraxanthin のクロマトグラム [シリカゲル-TLC，石油ベンジン，アセトン現液 (4:1, v/v) で展開]

結晶化が困難であるため、アルカリ
によるけん化処理がよく行なわれた。

(16)

先の濃縮試料をシリカゲルのTLC
でA, B, Cの3群に分離、精製し
た。A群には2つの主要色素の存在
が認められ、Rf値の低い方をA-1、
高い方をA-2とした。それらをTLC
により、さらに、分離、精製した後
少量のエタノールに溶かし、60%の
性カリを加えて一夜放置した。これ
によって生じた、けん化生成物(a-1,
a-2)もエーテルで抽出し試料とし
た。同様に、B, C群についても、
けん化処理を行ない、得られた色素
のTLCを行なったところ、Fig. 4-8に
示すような結果が得られた。なお、
B, C群のけん化生成物はそれぞれ
2群に分れたので、それらを、b-1,
b-2, c-1, c-2とした。

以上のTLCには展開溶媒として、
LAおよびBMを用いたが、a-1, b-
-1, c-1はほぼ同じRf値を示し、a-2,
b-2, c-2もそれぞれ同じRf値を示し

表 4-11 キクのカロチノイド色素のケン化生成物の
スペクトル特性

色素	吸収極大 (入 max)					
	= 硫 化 炭 素 *			エタノール		
Rf=0.03 の色素 (a-1, b-1, c-1)	439.0	465.0	496.5	415.5	438.5	468.0
Rf=0.09 の色素 (a-2, b-2, c-2)	443.0	469.0	496.5	418.0	442.0	467.0
Taraxanthin ***	441	469	501	416	442	471

* 溶 剤

*** Davies, B. H. (1965) に付す。

た。また、a-2, b-2, c-2 はタンポポの花から抽出された taraxanthin と同じ Rf 値を示した。

他方、ケン化生成物の UV スペクトルを測定するために黄色花品種である Golden Herald の生花弁から 99% エタノールでカロチノイド色素を抽出し、濃縮後、ケン化処理を行なった。ケン化生成物を、展開溶媒として LA を用いたシリカゲル TLC を行なった。

ところ、主要色素として、 $R_f=0.03$ (a-1, b-1, c-1に相当) と $R_f=0.09$ (a-2, b-2, c-2に相当) の2色素が分離、検出されたので、展開溶媒、LA および BE を用いたシリカゲル TLC を行ない、精製し、スペクトル、カーブを測定した。

その結果を表 4-11 表に示したが、同時に、Davies (16) による taraxanthin の λ_{max} もも並記した。 $R_f=0.09$ の色素は taraxanthin に近いスペクトル特性を示すことから、taraxanthin と思われるが、厳密には、さらに、詳細な分析が必要である。

4) 考 察

以上のようにな、キクの花にフラボノイド色素とカロチノイド色素が含まれていことが確認されたが、フラボノイド色素のうち、赤色を呈しているアントシアニン色素は、古くから分離、結晶化が試みられ、

Willstätter (109) により, chrysanthemin (cyanidin-3-glucoside) と命名され, その後, 林 (36), Kuroda (60) によりそれが確認されたが, Robinson (80) は Robinson test の結果から, cyanidin の acylated pentoside が存在することとを報告した。最近になって, 本実験と相前後して, 杉山ら (99), 遠藤ら (20), 服部ら (34) はアントシアニン色素を MPC により精製して, caffeic acid の存在することとを報告しているが, 本実験では, 同様に MPC により精製したアントシアニン色素 B およびその過酸化水素分解生成物 (D-S) の吸収スペクトル、カーブからは, caffeic acid の存在が認められなかった。

しかし, キクのアントシアニン色素には, 3 の位置に glucose と他の未知物質が置換されていることは明白である。IR スペクトルの分析結果から, この未知物質の一部として, carbonyl 基の存在が推測された。この点については, さらに詳細な検討

に加えなければならぬが、キクのアントシアニン色素は塩酸により容易に *chrysanthemin* に変化するため、その結晶化は相当困難である。したがって、これからは Bayer (6, 7), Mitsunisi (67), Saito (85) の報告にみられるように、酸を用いずに、アントシアニン色素の分離結晶化を行なう必要がある。また、ESR (77, 78), NMR (63), IR スペクトル (37) 等の機器分析の援用も今後大いに必要であると考えられる。

一方、キク花卉のフラボノイド色素の中で、白色ないし、淡黄色の色を呈するフラボノール系色素に関し、粗抽出液について2次元のPCを行なうと、10数コのスポットが観察されるが、本実験ではその個々の色素については分析を行なわず、比較的量が多く認められたアグリコンのみについて分析したところ、*apigenin* と *luteolin* が認められた。服部ら (34) が分離、同定した *quercetin* は本実験に用いられた品種には認められな

か

った。また、同じキク料のダリヤの花弁には、カルコンの一種である、butein が含有され、黄色の花色発現に関係していることが報告されているが(86)、予備実験ではキクの花にその存在が認められず、キク花の黄色発現はカロチノイド色素によるものと思われる。

キクのカロチノイド色素に関して、taraxanthin, chrysanthemaxanthin 等の存在が報告されているが(51, 52)、本実験では、TLC により精製した試料のスペクトル特性および Rf 値から、taraxanthin の存在が認められた。他にもう一つの xanthophyll の存在することも認められたが、同定されるには至らなかった。

第5章 花色とそれを構成する 色素の光学的分析

1) 緒言

最近、いろいろの面での機器分析の技術が開発されているが、オーバー・ガラス透過法の開発により生体の吸収スペクトル測定も可能となり、た(89)。この物理的な手法を花色変異の分析に応用した二、三の報告がみられる(84, 96, 116)。

Saito(84)は種々の植物の生花弁を供試し、その吸収スペクトルを測定した。その結果、吸収スペクトルは可視部における吸収極大の数、および位置により4グループに分けられ、その生花弁から得られた吸収スペクトルの型が鉍酸を用いたことで抽出、結晶化された genuine anthocyanin の吸収スペクトルと一致することを、三の植物について明らかにした。

また、Stewart(96)は、この方法を育種後代の花色分類をすみやかに、

かつ容易に行なうための実用的な手段として用いることを試み、Yoko¹¹⁶はバラで含有色素の種類が少なかりにもかわらず、花色変異の大きいことに着目し、その花色変異をこの方法で物理的に分析しようとした。

ギクの花に含有されている色素の分析に關する研究は、これまで、多数報告されてい^{20, 34, 36, 48, 50, 52, 55, 80, 99, 107, 109}るが、それら含有色素の種類および含量と花色変異を關連づけて詳述したものはほとんどみられず、わずかに寛⁴⁸、遠藤²⁰が、アントシアニン色素含量と花色の關係について報告しているにすぎない。

本章では、アントシアニン色素だけでなく、同じフラボノイド色素であるフラボノール系色素、また含有色素と花色変異の關係を分析するため、生花弁の吸収スペクトルを測定し、各吸収位置および数と花色、あるいは、

吸光度と花色の関係を検討した。

2) 材料および方法

材料として用いた8品種の栽培ギクは、観賞用大輪ギクおよび和ギクで、これらは京都大学農学部の花場で、慣行法にしたがって栽培した。また、花は6月に開花した花を供試した。10月から11月に

吸収スペクトルの測定にあたっては、頭状花序の外側の小花(舌状花)が、水平に伸び、た時点で各品種とも1花序から、外側の小花を1枚とり、その生花弁の吸収スペクトルをオパール・グラス透過法により測定した。スペクトル測定は、マルキパーパス自記分光光度計(型式、MPS-50L, 島津)によった。

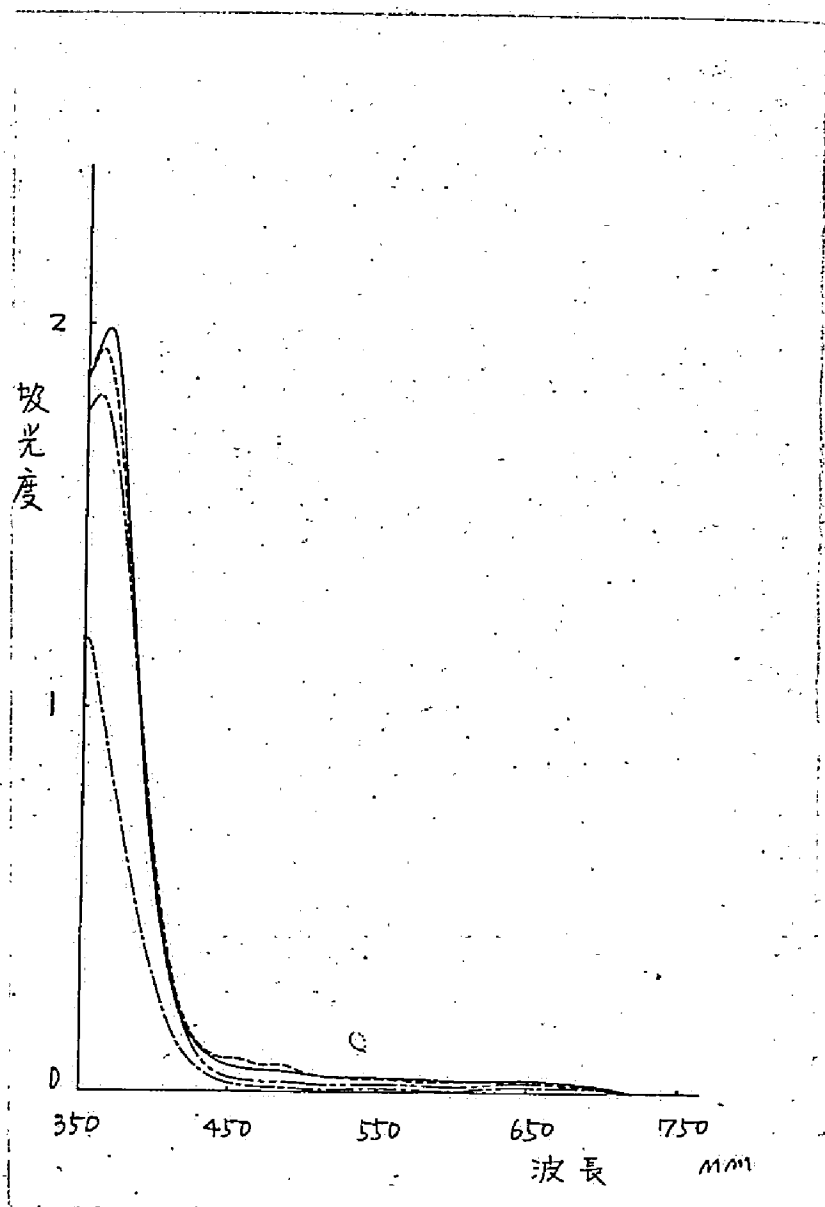
各品種の花弁色(花弁色)の決定にあたって、肉眼による測色では視感的差異が生じやすく、真の花弁色を決定するための測色色差計(型式、N

DK-5, 日本電色工業) を用いて行った。測色にあたっては、1品種あたり5花序を選び、1花序につき最外列の小花、および最外列と花心との中間部分の小花とについて花弁色を測色し、I.S.C.C.-N.B.S. 表色方式にもとづいて、各品種の花色を決定した。

3) 結果および考察

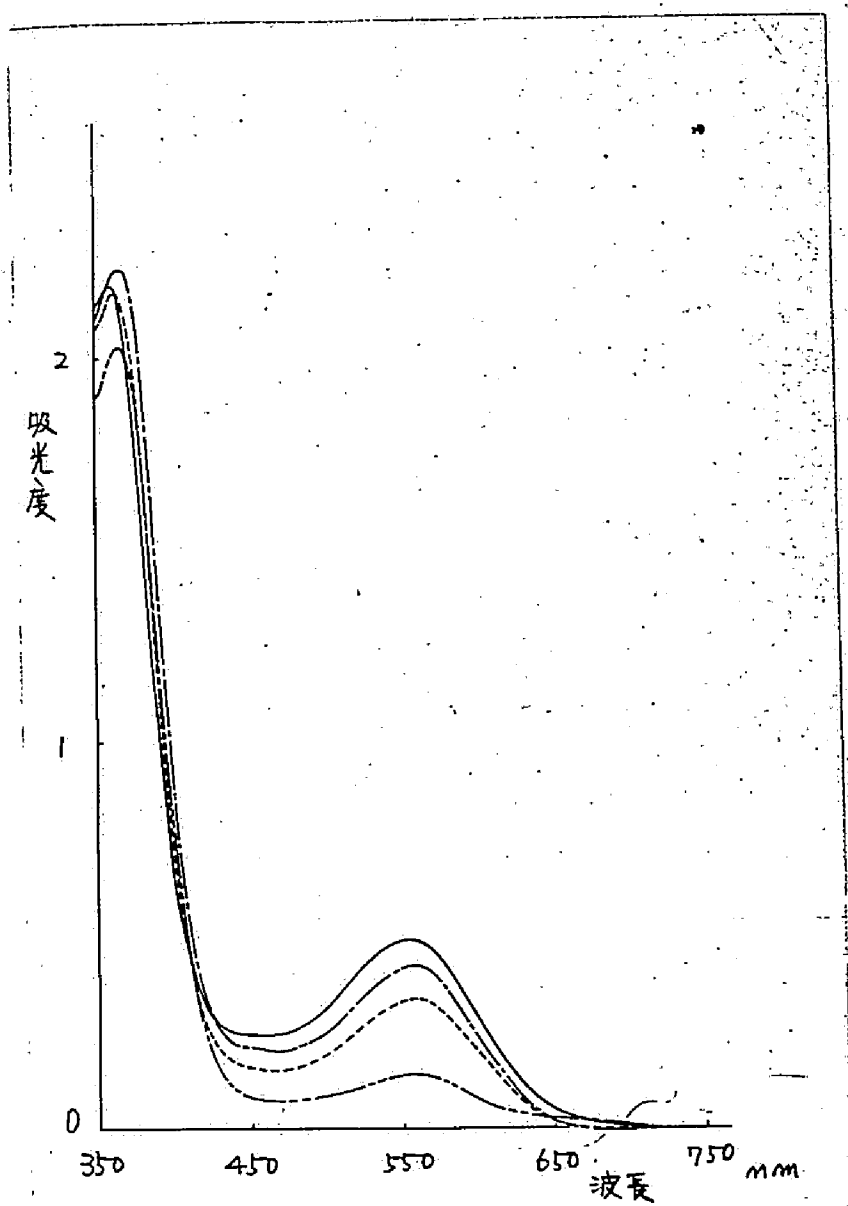
ヤフの花には主として三つの主要色素グループが含まれていることは、前章ですでに述べたが、生花弁について測定された吸収スペクトルから、それら主要色素グループと花色の関係が明確となった(ヤ5-1~6図)。

その色素グループの一つは可視部で最も長波長側(530~560nm)に吸収極大(入_{max})を持つ赤色系色素であるアジトシアニン色素グループで、その主要色素は chrysanthemin の誘導体である(55)。



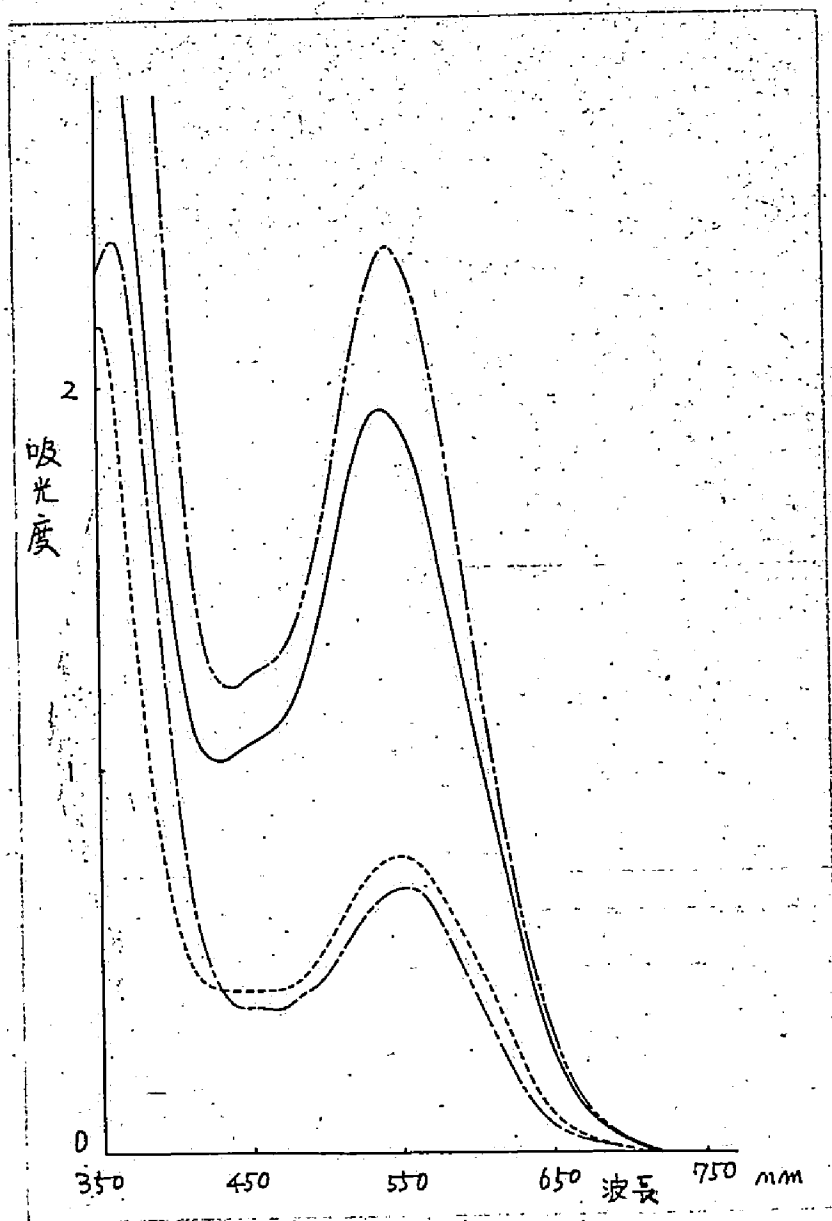
———— Iceberg, ---- 新東巨, — · — 乙4種(白),
 ----- Tip Top.

★5-1 図 生花弁の吸収スペクトル (グループW.)



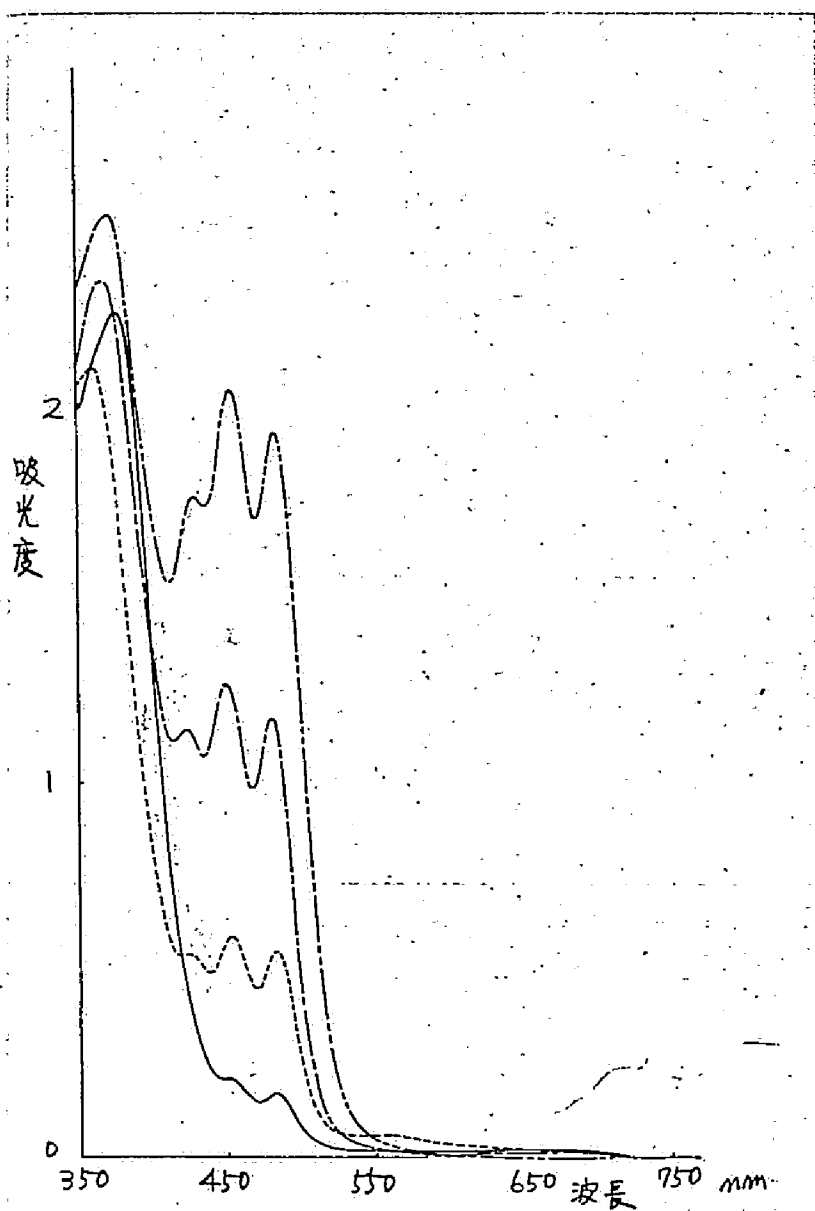
—— Indianapolis Pink, ---- Criterion,
 - - - Personality, 清水

※5-2図 生花卉の吸収スペクトル (フルーゴ; P.)



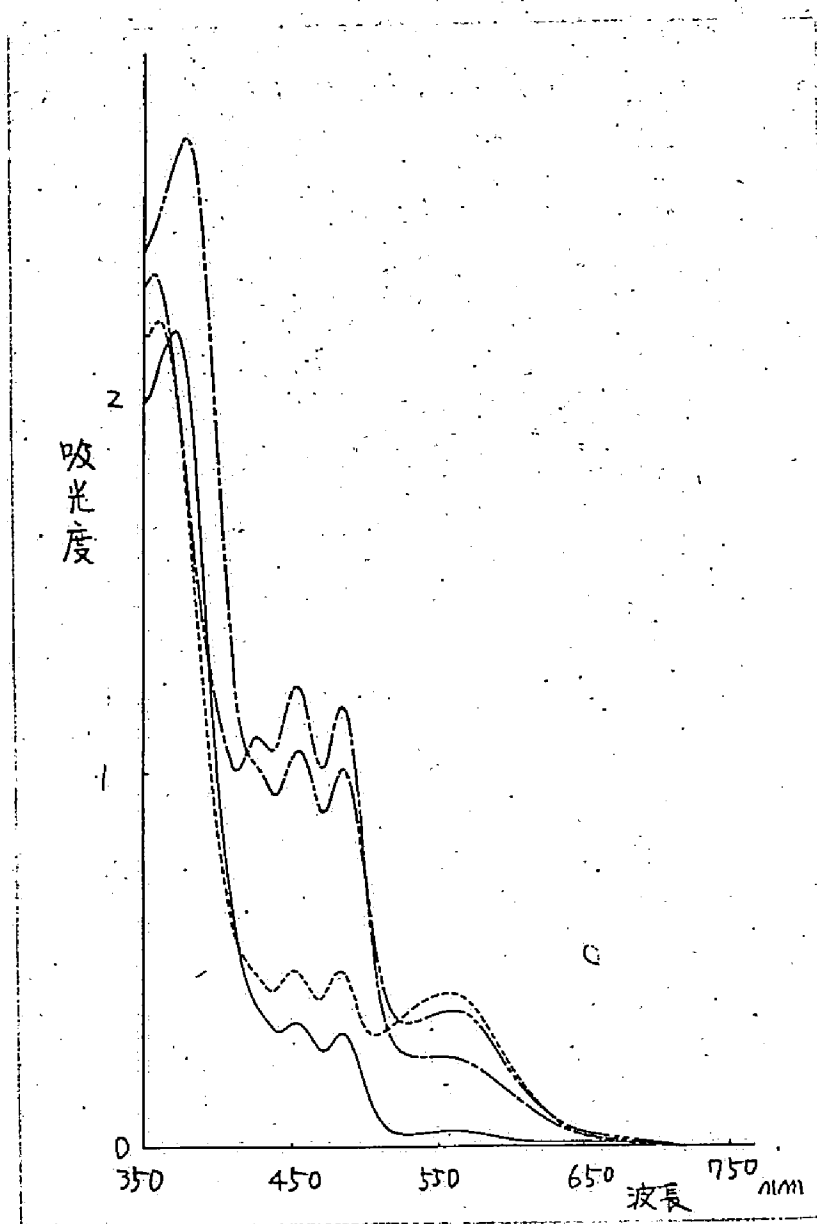
—— 泉郷若紫, ---- 聖火の炎, -.-.- 大芽桃山,
 大清美山.

オ5-3 図 生花卉の吸収スペクトル (グループ P)



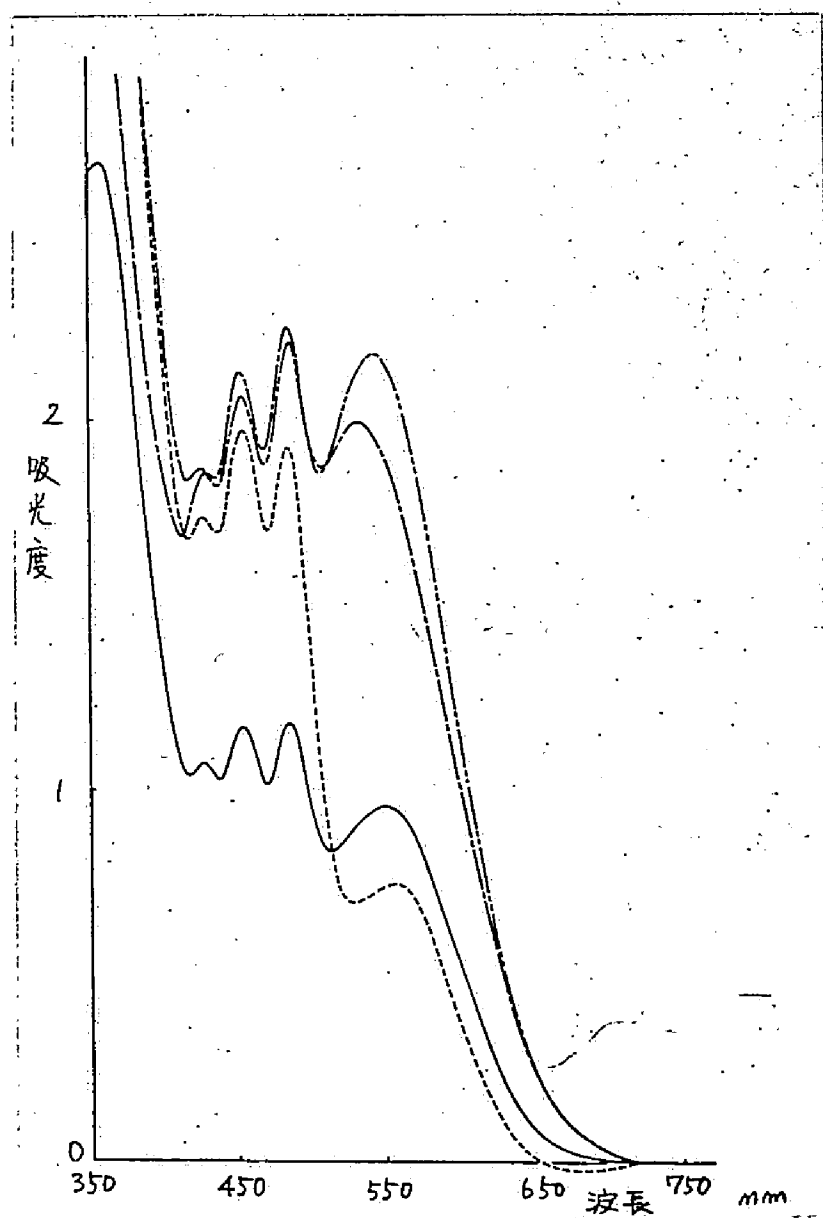
—— Nob Hill, ---- Goldberg, ——— 大清の一心,
 Golden Herald.

表5-4図 生花弁の吸収スペクトル (グループ; Y)



— Princessa d'Oro, ---- Peach Chip,
 - - - October, ——— Apricot Princess.

図5-5 生花弁の吸収スペクトル (グル-7°; OR)



—— Monty, ---- Fred Yule,
 -.-.- Oriflamme, ----- Delaware.

★5-6 図 生花卉の吸収スペクトル (ブルー7° OR)

・次のグループは黄色色素のカロチノイド色素で、これは 450nm 付近に典型的なミの λ_{max} を示しているが、前章で行なった TLC の分析から、実際には 10 数種におよぶ類似物質が混合した状態で花弁に含有されている。

次のグループであるフラボノール類は、 $350 \sim 370\text{nm}$ 付近に強い吸収を示すのが特徴である。そして、桃色～赤紫色および赤色系の花弁でアントシアニン色素と共存して、主として Co-pigmentation を形成していると考えられる色素で、*apigenin* および *quercetin* の誘導体が主成分である (34, 107)。

実験に供試された 68 品種のキクの花色では、これら三成分がほぼ下記のグループのように関係づけられていることが明らかとなった。

(W) 白色花グループ … フラボノール系色素

(P) 桃色～赤紫色花グループ … フラボノール系色素,

アントシアニン
色素

(Y) 黄色花グループ --- フラボノール
系色素, カロチ
ノイド色素

(OR) 橙色 ~ 赤色花グループ --- フラ
ボノール系色素,
アントシアニン
色素, カロチ
ノイド色素

以上のよう に, フラボノール系色
素は, (W), (P), (Y), (OR) のどのグルー
プにも含有されている. (OR) の橙色 ~
赤色花グループは, アントシアニン
色素の含有量にほぼ対応すると考え
られる吸光度 (O.D.) の強度から 3
段階に分けることができる. すなわ
ち, アントシアニン色素 (A) では,
 $A_0: A \text{ の O.D. } = 0$, $A_1: 0 < A \text{ の O.D. } \leq 0.50$,
 $A_2: 0.50 < A \text{ の O.D. } \leq 1.50$, $A_3: 1.50$
 $< A \text{ の O.D.}$, カロチノイド色素 (C)
では, $C_0: C \text{ の O.D. } = 0$, $C_1: 0 < C \text{ の O.D.}$
 ≤ 0.70 , $C_2: 0.70 < C \text{ の O.D. } \leq 1.50$,

C_3 : 1.50 < C の O.D. となる。そして、この 6 グループの組み合わせによって生じるグループが (4) のグループに生じてくることが考えられる。

(W), (P), (Y), (OR) の各グループに属する花色をカーブの吸光度の強度から分類してみると、

(W) 白色花グループ ... $A_0 - C_0$

(P) 桃色 ~ 赤紫花グループ ... $A_1 - C_0$,
 $A_2 - C_0 \sim C_1$, $A_3 - C_0$

(Y) 黄色花グループ ... $A_0 - C_1$, $A_0 - C_2$,
 $A_0 - C_3$

(OR) 橙色 ~ 赤色花グループ ... $A_1 - C_1$,
 $A_1 - C_2$, $A_2 - C_2$,
 $A_2 - C_3$, $A_3 - C_3$

のように、さらに細かくグループ分けすることができ、供試した 68 品種は表 5-1 表のようになる。これらのグループ分けで、(OR) に属すると考えられる $A_1 - C_3$, $A_2 - C_1$, $A_3 - C_1$, $A_3 - C_2$ の各グループに相当する花色の品種

は、供試した68品種の中にはみいだされなかつた。

花色変異を扱う上で、最も問題点を多く含む(P), (Y), (OR)のグループを取り上げて詳述するなら、赤色化はアントシアニン色素による吸収に依存し、紫色化には、フラボノール系色素の co-pigmentation が関与しているものと考えられる。すなわち、観察されたアントシアニン色素依存の λ_{max} は 535 ~ 561 nm であるが、そのうち、フラボノール系色素とアントシアニン色素との O.D. を比較して、フラボノール系色素の多い（生花卉の吸収スペクトル中、350 ~ 370 nm 付近に強い吸収帯が観察される点などから）桃色花グループでは、そのすべての品種が 557 ~ 560 nm にアントシアニン色素による λ_{max} を示しており、この点からも co-pigmentation の関与が考えられる。

また、これとは逆に、アントシアニン色素の O.D. が大きく、アントシアニン色素が優位であるとみられる。

グループでは、 $535 \sim 540 \text{ nm}$ の短波長側に λ_{max} が観察される。すなわち、(P) のグループでは、ほぼ λ_{max} に順じて花色は紫方向に変化する。それに O.D. の大小により花色の濃淡が決められる。

(Y) のグループでは、(P) のグループと同様に、O.D. の大小により花色の濃淡が決められるが、この黄色色素はカロチノイド色素で、吸収スペクトルにみられる三つの λ_{max} の主要ピークの波長は、 $451 \sim 458 \text{ nm}$ で、ほぼすべての黄色色素に共通性があり、変動はあまりない。

(OR) のグループはカロチノイド色素とアントシアニン色素の含有比によって、花色は変異する。すなわち、アントシアニン色素含量がカロチノイド色素含量より多い場合には、赤色が濃くなり、その逆のカロチノイド色素含量がアントシアニン色素含量より多い場合には黄色が濃くなる。

そこで、グループ (W), (P), (Y), (OR)

※5-1表 キク品種の生花卉におけるスペクトル特性

番号	品 種 名	吸収極大 (nm) [*]				吸光度 (O. D.) ^{**}				比 $\frac{A}{C_2}$ ^{***}	花 色
		C ₁	C ₂	C ₃	A	C ₁	C ₂	C ₃	A		
グリーフ ^o (W)											
A ₀ -C ₀											
1	新東亜		S	483				0.07			Yellow white
2	Encore										White
3	乙女桜(白)										"
4	Tip Top										"
5	白アルフス										"
6	Pristine										"
7	Improved Albatross		S	S							"
8	Iceberg			S							"
グリーフ ^o (P)											
A ₁ -C ₀											
9	Indianapolis Pink				557			0.49			Weak reddish purple
10	岡山平和			487	559		0.13	0.16			Weak pink
11	交野 桜				559			0.24			Weak purplish pink
12	Personality				"			0.42			Weak reddish purple
13	Blue chip				"			0.43			"
14	Dark Orchid Queen				"			0.42			"
15	Pink Chip				560			0.19			Weak purplish pink

16	Criterion			"		0.34		Weak reddish purple
17	Rose Chip	S	487	"	0.24	0.39		Weak red purple
18	Hialeah			"		0.43		Weak reddish purple
19	清水			"		0.14		Weak purplish pink

A₂-C₀~C₁

20	聖火の炎			549				0.76		Moderate reddish purple
21	妙心	S		"				1.47		Deep reddish purple
22	葎の山	S		550				1.31		Deep red purple
23	乙女桜(赤紫)	S	454	484	552	0.67	0.70	0.83	1.2	Dusky red purple
24	" (紫)			"				1.07		Deep reddish purple
25	四季の粧			"				1.12		"
26	大茅式部			"				1.39		Deep red purple
27	大茅桃山		452		554	0.38		0.68	1.8	"
28	Blue Ridge	S			555			1.05		Deep red purple
29	大茅の都				556			0.83		"
30	Dark Blue Chip				557			0.71		Moderate red purple
31	精興美山		456	S	558	0.52		0.74	1.4	Weak reddish purple

A₃-C₀

32	泉郷若紫				540			1.93		Very deep red purple
33	蟻通	S			"			2.62		Red purple
34	大清美山				546			2.35		Very dark purplish red

		74L→° (Y)										
A ₀ -C ₁												
35	Nob Hill	451	483			0.21	0.17					Weak yellow
36	Mefo	452	"			0.14	0.11					"
37	Yellow Chip	424	"	"	558	0.53	0.58	0.54	0.06	0.1		Strong yellow
38	2 + 桜(黄)	427	453	"	S	0.35	0.41	0.38				Moderate yellow
39	Gold Top	S	"	484		0.45	0.42					Yellow
40	銀 波	454	"			0.13	0.11					Yellow white
41	Goldberg	425	"	"	560	0.54	0.58	0.55	0.06	0.1		Strong yellow
42	Yellow Mefo	S	455	485		0.67	0.62					Moderate yellow
A ₀ -C ₂												
43	Yellow Iceberg (1)	423	451	482		0.52	0.56	0.52				Weak yellow
44	" (2)	425	"	"		0.74	0.80	0.75				Strong yellow
45	大 清 の - 心	424	452	483		1.16	1.28	1.18				"
46	Golden Princess Ann	427	455	485	556	0.79	0.86	0.80	0.07	0.1		"
47	Aztec	428	"	486		1.27	1.42	1.36				Vivid yellow
A ₀ -C ₃												
48	Golden Herald	430	"	485		1.78	2.06	1.95				Deep yellow
		74L→° (OR)										
A ₁ -C ₁												
49	Peach chip	452	483	558		0.47	0.42	0.41	0.9			Weak red
50	Salmon chip	S	450	482	559	0.55	0.55	0.28	0.5			Moderate orange pink
51	Bronze chip	"	452	483	"	0.68	0.65	0.42	0.6			Weak orange
52	Princess Ann	453	484	560		0.62	0.60	0.40	"			Moderate orange pink

53	Princessa d'Oro	"	"	564	0.33	0.30	0.04	0.1	Pale yellowish orange		
A_1-C_2											
54	October	427	"	"	557	1.12	1.25	1.20	0.24	0.2	Moderate orange
55	金 剛	426	"	"	558	0.68	0.76	0.72	0.23	0.3	Weak orange
56	Crescendo	425	454	"	559	1.06	1.19	1.15	0.32	"	Deep yellowish orange
57	Apricot Princess	S	455	485	561	1.03	1.02	0.36	0.4	Moderate orange	
A_2-C_2											
58	乙女桜(赤)	424	452	484	545	0.83	0.89	0.93	1.07	1.2	Deep red
59	Indiamapolis Bronze	428	456	488	548	0.90	0.96	0.94	0.64	0.7	Moderate red
60	Thelma	431	458	489	"	1.53	1.65	1.84	0.82	0.5	Red
61	Monty	427	455	486	551	1.06	1.16	1.17	0.95	0.7	Deep red
A_2-C_3											
62	Jetfire	428	454	485	537	1.77	1.99	2.00	1.15	0.6	Red
63	Fred Yule	429	456	487	558	1.66	1.98	1.93	0.73	0.4	Deep orange
A_3-C_3											
64	Oriflamme	"	455	"	535	1.86	2.14	2.26	2.00	0.9	Dark red
65	千代の美	427	458	"	543	1.80	2.01		2.84	1.4	Very dusky red
66	Delaware	"	456	488	545	1.88	2.07	2.21	2.18	1.1	Dark red
67	Algone	"	455	487	546	1.47	1.64	1.73	1.72	1.1	Dusky red
68	Vulcan	423	454	485	551	1.72	1.88	1.94	1.61	0.9	Dark red

* C_1, C_2, C_3 ... カロチノイド色素の吸収極大, A ... マントシアニン色素の吸収極大, S ... shoulder.

** 720mm の吸光度を0としたスペクトル・カーブの吸収極大の吸光度.

*** C_2 ... カロチノイド色素の主ピーク.

を通じて，カロチノイド色素(C)と
アントシアニン色素(A)のO.D.比を，
供試68品種について整理すれば，オ
5-2表のようになる。

オ5-2表 生花卉のスペクトルカーブにみられる
アントシアニン色素とカロチノイド色素の吸
光度比と，花色の関係

O.D. [*] の比	花 色
^{**} CのO.D.=0, ^{***} AのO.D.=0	白色
CのO.D.>0, AのO.D.=0	黄色
$0 < \frac{A \text{ の O.D. }}{C \text{ の O.D. }} < 1$	黄色～橙色～赤色
$1 \leq \frac{A \text{ の O.D. }}{C \text{ の O.D. }}$	橙色～赤色～ — 赤紫色
CのO.D.=0, AのO.D.>0	桃色～赤紫色

- ※ O.D. … 吸光度
 ※※ C … カロチノイド色素
 ※※※ A … アントシアニン色素

★ 6 章 花色発現に対する主要 色素の量的効果と花色の 測色

1) 緒 言

キクの花色を構成している色素に
関する研究は、これまでに多数報告
されてお^{20, 34, 36, 48, 50~52,}
り^(55, 60, 62, 99, 107, 109)、花に含有
されている主要色素としてはカロチ
ノイド色素とフラボノイド色素の二
種類が知られている。

前章で明らかになように、概略的に
は、主要色素として黄色の花にはカ
ロチノイド色素、白、桃ないし赤紫
色花にはフラボノイド色素、そして
橙ないし赤色の花には両色素が共存
している。

カロチノイド色素としては、これま
でに taraxanthin, chrysanthemaxanthin,
xanthophyll-mono-epoxyde がキクの黄色花
から単離、同定されている (51, 52)。
また、フラボノイド色素中、アント
シアニン色素については、すでに述

べたように, *chrysanthemin* の他に, 2種類 の *chrysanthemin* の誘導体の存在がほぼ明らかになつてゐる (55). フラボノール系色素では *apigenin*, *quercetin* および *acacetin* の配糖体が中心となつてゐる (33, 34, 107).

しかし, これらの色素の存在にもかゝらず, キクの花における花色の出現中は比較的せまく, 単調である。前章で指摘したように, 黄色花は多数のカロチノイド色素も含んでゐるにもかゝらず, 多数の黄色花品種の生花弁の可視部における吸収スペクトルの吸収極大 (λ_{max}) は, ほとんど同じである。また, 花色バアントシアニン色素に依存する品種では, 若干, バアントシアニン色素含有量の少ない桃色の花でフラボノール系色素の *co-pigmentation* の関与があると考えられ, 赤色ないし, 赤紫色花のものより, 長波長領域への λ_{max} の移動 (557~560nm) がみられるが, しかし, 一般的にはほぼ同一の値を示してゐる (84)。そのため,

キ、個々の色素の主要成分は、アントシアニン、
 トシ、これら2種の色素は、花の色を決定する主要成分である。
 の品が、なっており、花の色を決定する主要成分である。
 題、前章に、キ、フ、の、花、色、と、生、花、
 弁、の、吸、収、ス、ペ、ク、ト、ル、の、カ、ー、ブ、の、型、と、そ、
 が、ほ、その、カ、ー、ブ、の、型、に、よ、り、供、試、し、
 し、て、68、品、種、を、ほ、ぐ、4、グ、ル、ー、プ、に、分、類、す、
 た、こ、と、が、で、き、た、そ、れ、ぞ、れ、の、グ、ル、ー、
 プ、は、オ、6-1、表、に、示、し、て、あ、る、よ、う、に、
 (W) 白色花、(P) 桃色～赤色花、(Y) 黄色
 色花、(OR) 橙色～赤色花、の、各、グ、ル、ー、プ、
 で、あ、る、こ、れ、ら、の、区、分、は、ほ、ぐ、構、成、色、
 素、に、対、応、し、て、い、た、す、な、わ、ち、(P) は
 ア、ン、ト、シ、ア、ニ、ン、色、素、を、(Y) の、黄、色、花、
 は、カ、ロ、チ、ノ、イ、ト、色、素、を、(OR) は、両、色、素、
 を、含、み、(W) は、両、色、素、を、含、ん、で、い、な、い、
 こ、れ、ら、の、色、素、を、含、ん、で、い、る、(P)、
 (OR) の、グ、ル、ー、プ、で、は、カ、ロ、チ、ノ、イ、ド、色、
 素、が、よ、び、ア、ン、ト、シ、ア、ニ、ン、色、素、の、吸、光

度(O.D.)が増大するにしたがい、花の色調が濃くなることを認めた。

前章では、生花弁の吸収スペクトル、カーブと花色の関係を取り扱ったが、本章では色素の定量分析と色差計による花弁の表面色の正確な測色とから得られた結果を前章の結果と対比することによって、キフの品種にみられる種々の花色を合理的に分類、整理する方法を追究した。すなわち、前章での区分方法が色素組成の知見からは合理的な取り扱いであるか、また、これが、キフの花色を対象とした育種研究において、品種の取り扱いの上で適当な分類方法であるかどうかを検討した。

なお、花色と色素含量の関係については、すでに笈ら(48)や遠藤ら(20)により報告されているが、いずれも、赤色系キフのアシトシアニン色素のみを取り扱ったもので、本実験のように幅広い花色についての検討はなされていない。

2) 材料および方法

前章で供試した68品種を用いた(ただし, NO.49の Peach Chipは含有色素の定量を行なっていない)。これらの品種の栽培は, 京都大学農学部のほ場で, 慣行法にしたがって行ない, 6月に土し芽し, 10~11月に開花した花を供試した。試料とする花弁の採取は, 外側の小花が水平に展開した時点で行ない, 色素の定性, 定量には周縁部の小花を用い, 花色の測色には周縁部の小花と, 花序の周縁部と花心の間部分の小花ともを用いた。色素の抽出, 定性, 定量は常法に準じた(16, 33)。

ii) アントシアニン色素の抽出, 定性, 定量

供試品種についての定性は, セルロースパウダーの薄層フラマトグラフィ―(TLC, アビセルSF, フナコシ薬屋)を用いて行なった。

40°C で通風乾燥した花弁を粉末として、その少量を 1% 塩酸-メタノールに浸漬し、室温(約 25°C)に およそ 6 時間おきた。得られた色素溶液をろ過してクロマトグラフィー用の試料とした。展開溶媒はメタノール、酢酸、水の混液(4:1:2, v/v)を用いた。アントシアニン色素を含有する 47 品種すべてに、クロマトグラム上の主要色素として、3 スポットが検出された。

定量は、上記の粉末 50mg から 1% 塩酸-メタノール 100 ml でアントシアニン色素を抽出し、530 nm での吸光度を測定し、同じ溶媒での標準試料(chrysanthemin)から求めた検量線で、その色素の含量を算出した。含有量は乾燥重 1mg あたりの μg (chrysanthemin 相当量) で表した。

(ii) カロチノイド色素の抽出、定性、定量

カロチノイド色素の定性、定量

には、生花弁を用いた。生花弁を TLC の展開溶媒と同じ溶剤とともに乳ばち内ですりつぶし、得られたカロチノイド色素溶液をクロマトグラフィー用の試料とした。定性分析はシリカゲル (Silica gel - G, Merck) の TLC を用い、展開溶媒としては石油ベンジン、アセトン混液 (4:1, v/v) を使用して色素を展開した。得られたクロマトグラム上には、カロチノイド色素を含有する品種、すべてに、10 コのスポットが主要なものとして確認された。

定量は生花弁 500 mg を、展開溶媒と同じ組成の溶剤を用いて、乳ばち内ですりつぶし、カロチノイド色素を抽出した。その抽出液を正確に 50 ml の定量に上記溶剤で希釈し、440 nm の O.D. を測定した。

キク花弁に存在するカロチノイド色素として、*chrysanthemaxanthin*, *taraxanthin* 等が同定されており (51.52)、前章でも *taraxanthin* を確認している。花弁に含まれている総カロチノイド

色素含量に対して、これらの個々の色素の占める割合が明らかでないため、本実験では $E = 2500$ の値を用いて、通常使用される換算式で含量を算出し、生体重 1mg あたりの μg で表した (16)。

抽出された色素溶液の吸光度測定には、日立 101 型分光光度計を用いた。

(iii) 花色の測色

採取された花はただちに、花色の測色に供試された。測色は測色色差計 (NDK-5 型, 日本電色工業) により行なわれ、測色時の花弁の裏打ちには黒色板を用い、測色窓 (集光孔) は 5mm とした。1 品種あたり 5 花序を選び、1 花序につき、最外列の小花および最外列と花心との中間部分の小花の花弁を試料とした。この 5 花の測定結果の平均をそれぞれの品種の花色とみなし、花色を L , a , b 値で表わした (41)。

3) 結果および考察

(i) 供試品種における色素の種類

(1) アントシアニン色素

ギクの花に含有されているアントシアニン色素の分析結果は前章に示したが、今回取り扱った49品種にみられる主要色素組成は表6-1に示してあるが、ほとんど同じ色素組成であった。

これらの色素は色の発色体の本体としては *cyamidin* であるため、花色に対してはほとんど同じ色調を呈する傾向を示るので、特別に区別せず、すべて *cyamidin-3-glucoside* (*chrysanthemin*) として取り扱い、その色素含量を花色発現に対する問題点として取り上げた。この実験では、分析はアントシアニン色素とカロチノイド色素に限定し、フラボノール系色素は取り上げなかった。

表6-1 キク品種の花色とアントシアニン色素およびカロチノイド色素含量

グループ ^a	品種名	花 色 ^b	アントシアニン色素				カロチノイド色素				含量比 (A/C)
			主要色素 ^c	吸光度 ^d	含量 ^e	含量/ 吸光度	主要色素 ^f	吸光度 ^d (C ₂)	含量 ^g	含量/ 吸光度	
(W)	1. Shintoa	Yellow white					?	S	±		
	2. Encore	White									
	3. 乙女桜(白)	"									
	4. Tip Top	"									
	5. 白アルプス	"									
	6. Pristine	"									
	7. Improved Albatross	"					?	S	0.004		
	8. Iceberg	"					?		±		
(P)	9. Indianapolis Pink	Weak reddish purple	A, B, C	0.49	2.233	4.56					
	10. 岡山平和	Weak pink	"	0.16	0.940	5.88	?		±		
	11. 交野桜	Weak purplish pink	"	0.24	0.940	3.92					
	12. Personality	Weak reddish purple	"	0.42	3.009	7.16					
	13. Blue Chip	"	"	0.43	2.374	5.52					
	14. Dark Orchid Queen	"	"	0.42	3.197	7.61					
	15. Pink Chip	Weak purplish pink		0.19	0.705	3.71					

16. Criterion	Weak reddish purple	A, B, C.	0.34	3.197	9.40					
17. Rose chip	Weak red purple	"	0.39	3.032	2.77	?	SS	0.011		301.8
18. Hialeah	Weak reddish purple	"	0.43	2.280	5.30					
19. 清水	Weak purplish pink	"	0.14	0.494	3.53					
20. 聖火の炎	Moderate reddish purple	"	0.76	9.238	12.16	?		0.011		839.8
21. 妙心	Deep reddish purple	"	1.47	12.224		?		±		
22. 華の山	Deep red purple	"	1.31	10.719	8.18					
23. 乙女桜(赤紫)	Dusky red purple	"	0.83	9.097	10.96	?	0.67	0.025	0.04	363.9
24. " (紫)	Deep reddish purple	"	1.07	11.636	10.87					
25. 四季の粧	"	"	1.12	11.871	10.60					
26. 大芳式部	Deep red purple	"	1.39	20.592	14.81					
27. 大芳桃山	"	"	0.68	11.236	16.52	?	0.38	0.009	0.02	1248.4
28. Blue Ridge	Deep red purple	"	1.05	8.510	8.10					
29. 大芳桃山	"	"	0.83	11.330	13.65					
30. Dark Blue Chip	Moderate red purple	"	0.71	3.879	5.46					
31. 精興美山	Weak reddish purple	"	0.74	7.546	10.20	?	0.52	0.006	0.01	1257.7
32. 泉郷芳紫	Very deep red purple	"	1.93	30.794	15.96					

	33. 蟻 通	Red purple	A, B, G.	2.62	29.807	11.38				
	34. 大清美山	Very dark purplish red	"	2.35	23.719	10.09				
(Y)	35. Nob Hill	Weak yellow					?	0.21	0.016	0.08
	36. Mefo	"					?	0.14	0.013	0.09
	37. Yellow Chip	Strong yellow	"	0.06	±	A' ~ J'		0.58	0.112	0.19
	38. 乙女桜(黄)	Moderate yellow	"	S	0.470	"		0.41	0.122	0.30
	39. Gold Top	Yellow				"		0.45	0.144	0.32
	40. 銀 波	Yellow white				?		0.13	0.004	0.03
	41. Goldberg	Strong yellow	?	0.06	±	A' ~ J'		0.58	0.172	0.30
	42. Yellow Mefo	Moderate yellow				"		0.67	0.194	0.29
	43. Yellow Iceberg	Weak yellow				"		0.56	0.132	0.24
	44. " (1)	Strong yellow				"		0.80	0.154	0.19
	45. 大清の心 (2)	"				"		1.28	0.153	0.12
	46. Golden Princess Ann	"	A, B, C.	0.07	0.306	4.37	"	0.86	0.131	0.15
	47. Aztec	Vivid yellow				"		1.42	0.333	0.23
	48. Golden Herald	Deep yellow				"		2.06	0.356	0.17
	49. Peach Chip	Weak red	"	0.41	—	?		0.47	—	
(OR)-(I)	50. Salmon Chip	Moderate orange pink	"	0.28	2.022	7.22	?	0.55	0.026	0.05
	51. Bronze Chip	Weak orange	"	0.40	1.834	4.59	A' ~ J'	0.68	0.082	0.12

52. Princess Ann	Moderate orange pink	A, B, C.	0.40	2.186	5.47	?	0.62	0.031	0.05	70.5
53. Primcessa d'Oro	Pale yellowish orange	"	0.04	0.306	7.65	"	0.33	0.024	0.07	12.8
54. October	Moderate orange	"	0.24	1.293	5.39	A' ~ J'	1.25	0.266	0.21	5.0
55. 金 剛	Weak orange	"	0.23	1.105	4.80	?	0.76	0.164	0.22	6.7
56. Crescendo	Deep yellowish orange	"	0.32	1.222	3.82	A' ~ J'	1.19	0.256	0.21	4.8
57. Apricot Princess	Moderate orange	"	0.36	1.430	3.97	"	1.07	0.124	0.12	11.5
58. 乙女桜(赤)	Deep red	"	1.07	9.638	9.01	"	0.89	0.102	0.11	94.5
(OR)-(I) 59. Indianapolis Bronze	Moderate red	"	0.64	3.126	4.88	"	0.96	0.082	0.09	38.1
60. Theima	Red	"	0.82	7.264	8.86	"	1.65	0.364	0.22	20.0
61. Monty	Deep red	"	0.95	9.144	9.63	"	1.16	0.354	0.31	25.8
62. Jetfire	Red	"	1.15	8.392	7.30	"	1.99	0.507	0.25	16.6
63. Fred Yule	Deep orange	"	0.73	4.020	5.51	"	1.98	0.303	0.15	129.7
64. Oriflammie	Dark red	"	2.00	18.641	9.32	"	2.14	0.250	0.12	74.2
65. Chiyonobi	Very dusky red	"	2.84	45.157	15.90	"	2.01	0.136	0.07	332.0
66. Delaware	Dark red	"	2.18	19.581	8.98	"	2.07	0.158	0.08	123.9
67. Algone	Dusky red	"	1.72	27.151	15.79	"	1.64	0.185	0.11	146.8
68. Vulcan	Dark red	"	1.61	18.900	11.74	"	1.88	0.260	0.14	92.7

a --- 前章参照, b --- I. S. C. C. - N. B. S. 方式による, c --- ブチルアルコール, 酢酸, 水混液(4:1:2, 1%)を展開溶媒とした TLC (セルロースポウダー) で認められる主要色素, d --- 生花弁の吸収スペクトルカーブから得られた吸光度, λ_{\max} はカロチノイド色素の主ピーク, e --- $\mu\text{g}/\text{mg}$ D.W., f --- 石油ベンジン, アセトン混液(4:1, 1%)を展開溶媒とした TLC (シリカゲル) で認められる主要スポット, g --- $\mu\text{g}/\text{mg}$ F.W.

(4) カロチノイド色素

キクの黄色花に含まれるカロチノイド色素の分析結果は前章に述べたが、クロマトグラム上に表れた主要スポットは各品種とも10コを確認し、その結果は表6-1表に示したとおりである。

これらの色素が吸収スペクトルに示す三つの λ_{max} は、420~490 nmの範囲にあり、ほとんど同じで、クロマトグラムのスポットはいずれも黄色であった。このため、それぞれのカロチノイド色素を区別せず、同一の色素として量的な問題のみを調べた。

(4) 花色による品種の区分

前章で明らかかなように、花色と含有色素の種類との間には、密接な関係が認められ、それは表6-2表のようである。この実験でも、供試した68品種を花色により前章の様式に準じて下記の四つのグループに分類し、

表6-2 花色とそれに関与する主要色素

グループ	色素の種類*
(W) 白色花グループ	フラボノール系色素
(P) 桃色花グループ	フラボノール系色素, アントシアニン色素
(Y) 黄色花グループ	フラボノール系色素, カロチノイド色素
(OR) { (I) 橙色花グループ	フラボノール系色素, アントシアニン色素, カロチノイド色素
(II) 赤色花グループ	フラボノール系色素, アントシアニン色素, カロチノイド色素

* 出現する主要色素の種類

・ フラボノール系色素

Apigenin, Luteolin

・ アントシアニン色素 (Cellulose-TLC, BAW; 4:1:2)

A; $R_f = 0.56$.

B; $R_f = 0.46$

C; $R_f = 0.38$... Cyanidin-3-glucoside

・ カロチノイド色素 (Silica gel-G-TLC, Light petroleum; Acetone = 4:1, v/v)

A'; $R_f = 0.96$, E'; $R_f = 0.45$, I'; $R_f = 0.21$,

B'; $R_f = 0.85$, F'; $R_f = 0.41$, J'; $R_f = 0.18$.

C'; $R_f = 0.58$, G'; $R_f = 0.31$,

D'; $R_f = 0.52$, H'; $R_f = 0.27$,

以下、グループ別に色素含量と花色の結果をまとめ、花色発現に及ぼす色素含量の影響について考察を行なう。

(W) 白色花グループ

(P) 桃色花グループ (桃色～赤紫色花)

(Y) 黄色花グループ

(OR) (I) 橙色花グループ

(II) 赤色花グループ

(iii) カロチノイド色素およびアントシアニン色素の含量

オパール、グラス透過法 (89) により、測定された生花弁のスペクトル、カーブにおいて、カロチノイド色素およびアントシアニン色素の含量を示すと考えられる。O.D. はフラットーレル系色素、カロチノイド色素、およびアントシアニン色素の3者が関与して起る。したがって、O.D. の0点の設定が含有している色素の正しい0点に相当するとは限らないので、

そのO.D.から、それぞれの厳密な色素含量を直接求めることは困難である(56)。

これまで、色素含量の多少が花色変異の一因となるというのと、可なり、花色に対する色素の量的効果については、多くの報告がみられるが(2, 31, 32, 96, 111)、アントシアニン色素のみに関したものが多いようである。

キクの花の場合は、生花弁のスペクトル、カーブから明らかなように、アントシアニン色素のほかにも、カロチノイド色素の花色への影響が大きい(56)。

そこで、カロチノイド色素とアントシアニン色素の抽出、定量を行ない、得られた色素含量をグループ別にまとめ、前章で調査した生花弁のスペクトル、カーブのO.D.と対比して、表6-1表に示した。今回の定量法は、乾燥花弁のmgあたりの含量を問題としたので、測定された色素含量が生花弁のO.D.とかならずしも、

より高い相関性をもつとは期待できないが、概略的にはほぼ、両者の間に対応がみられた。しかし、生花卉のD.D.の高いものほど、色素含量とO.D.が対応しなかった。以下、色素含量と生花卉の吸収スペクトル、カーブのO.D.の関連性について詳細に検討してみた。

カロチノイド色素含量をグループごとにすると、含量の高い品種は黄色花グループよりも橙色花グループ、赤色花グループの品種、Jetfireは最も高い含量を示した。この品種の花弁の裏側は、他の品種のそれより濃い黄色で、高濃度のカロチノイド色素の集積がみられた。

ここで、色素含量と生花卉のスペクトル、カーブから得られたO.D.との関連性をみるために、含量とO.D.との相関関係を求めたところ、黄色花および橙色花グループの品種では、それぞれ $r=0.90$, 0.89 とかなり高い相関が得られたが、赤色花グループ

った。その花色は、他の品種と異な
って黒味の強い赤色を呈していた。
この花色は主に、高濃度のアントシ
アニン色素によるものと思われるが、
他の報告(110, 112)にもみられるよう
に花弁表面の形態的差異や、タン
ニンなどの共存物質の影響もあるも
のと思われれる。

本実験の結果から、花色発現と色
素含量の関係を検討してみると、ア
ントシアニン色素による赤紫色発現
には、カロチノイド色素による黄色
発現の場合とは異なり、かなり高濃
度の色素含量が必要であると考えら
れる。

ここで、アントシアニン色素含量
と、生花弁のスペクトルカーブに
みられるアントシアニン色素のO.D.
との関係をみると、どのグループに
対しても高い相関関係が認められ、
桃色花グループで $r=0.93$ 、橙色花グ
ループで $r=0.97$ 、赤色花グループで
 $r=0.93$ であった。このことは、生花
弁の吸収スペクトルカーブにあり

対応した変化を示さないのが普通であり(54)、1個の花序でも部分的に似た場合、色彩構成は複雑である。

白色花や、黄色花グループの生花弁のスペクトル、カーブにおいて、アントシアニン色素による鬼われる吸収が観察され、白色花や桃色花グループのスペクトル、カーブにもカロチノイド色素による吸収が認められた。しかし、両色素とも含有量がごく微量であって、抽出定量ができない例もみられた。したがって、それぞれの花に含まれるアントシアニン色素およびカロチノイド色素を定性的に分析する場合、生花弁のスペクトル、カーブを測定すれば、ごく微量に含まれる色素をも検出することが可能である。また、定量的に分析する場合にも、スペクトル、カーブの測定によつて微量な色素の存在を確かめながら分析を進めることは、色素の抽出、定量を行なう上で、非常に有効である。ごく微量に含まれる色素は色相

を變えるほど、花色発現に影響をも
つてはいないが、ここに各グループ
におけるアントシアニン色素 (A , mg
 $/\text{mg D.W.}$) とカロチノイド色素 (C , mg
 $/\text{mg F.W.}$) の含有比 (A/C) をあげると
次のようである。

黄色花グループ	0.3 ~ 0.9
橙色花グループ	4.8 ~ 129.7
赤色花グループ	16.6 ~ 146.8
	(ただし、千代の美 は 332.0)
桃色花グループ	301.8 ~ 1257.7

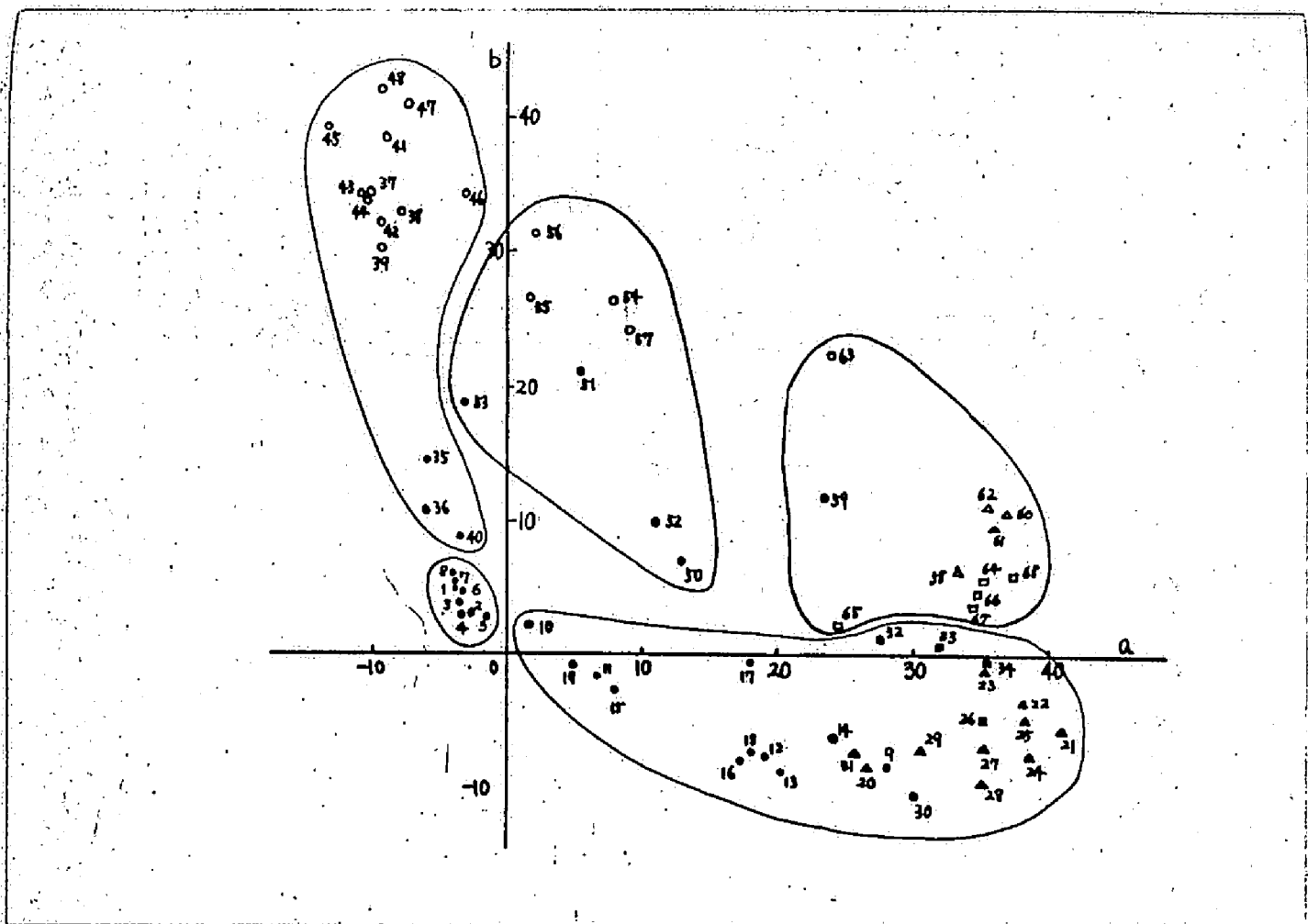
(Ⅲ) 花色の数値的表現および数値 的に表現された花色と主要色素 の関係

花色とそれを支配する色素含量と
の関係を論じようとする場合、微妙
に異なる色調を識別し、表示する必
要があるが、その表色方法として、
色調を数値的に表現することを試す

た。そこで、各品種の花色を色差計を用いて測色し、その結果をオ6-1、2図に示した。

本実験に用いた品種の花色は黄色から橙色、赤色そして赤紫色までの色相範囲に分布し、白色花は無彩色の色を表わす原点から少しはれた黄色の色相範囲に位置している。ここで用いたU.C.S.表色系に比べ、C.I.E.表色系よりも花色間の色差がよく表現できるといふ利点があるが(41, 48, 75)、視感的に濃赤色と濃赤紫色とはかなり異なり、たまたま色調として判別できず、非常に接近した色調として表されていふ。しかし、全体の構造的にみると、前章で生花弁のスペクトル、カラーグラフの型による分類された各グループは色度図上で、ほぼ同じ品種からなるグループに区分された。

前章で述べたように、花色とそれに関連していろ色素の種類はオ6-2表のようになり、関係にあるが、各グループ内には、



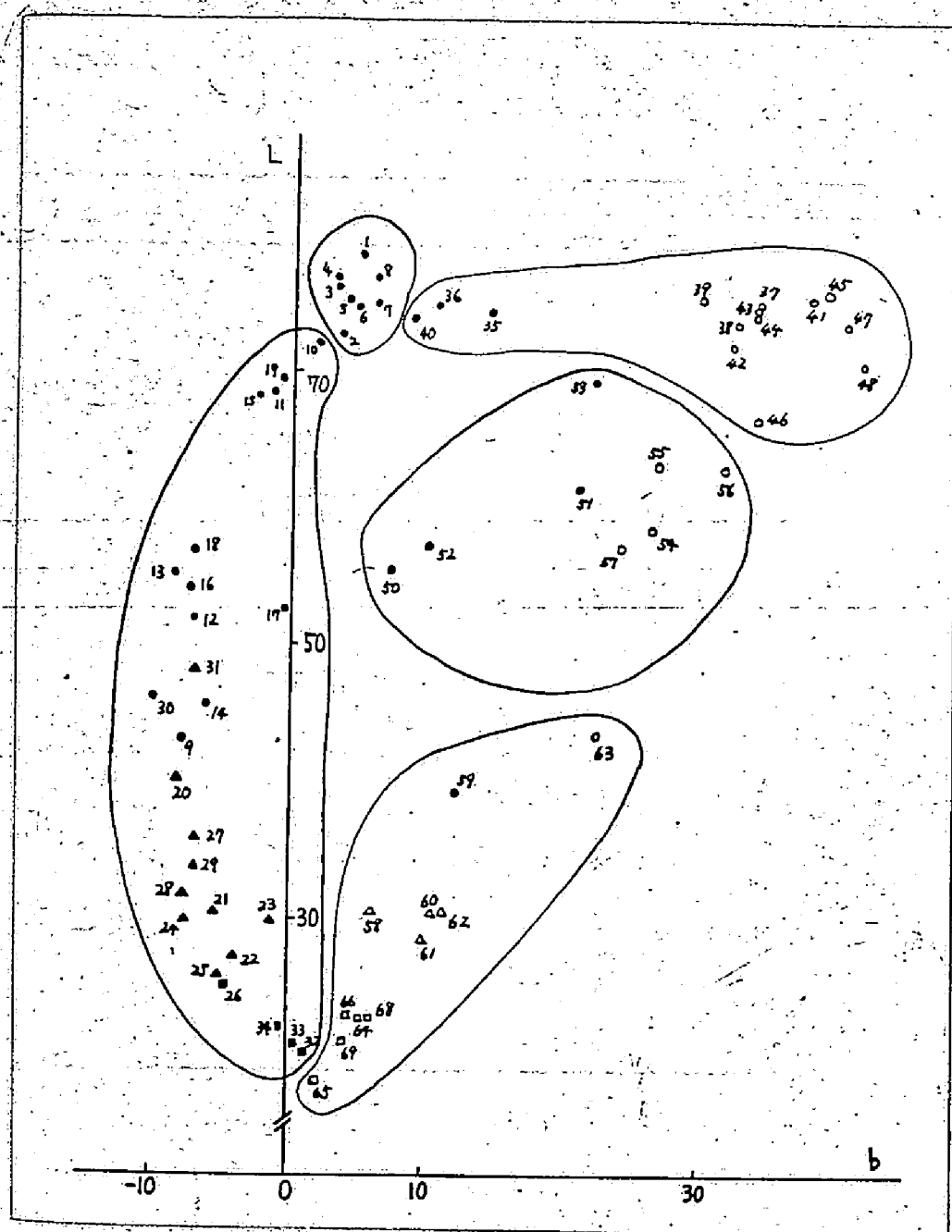
- ▲ ■ --- $0 < C \leq 0.09$
 ○ △ □ --- $0.09 < C$
- ● --- $0 < A \leq 0.50$
 △ ▲ --- $0.50 < A \leq 15.00$
 □ ■ --- $15.00 < A$
- } カロチノイド色素 (C; $\mu\text{g}/\text{mg}$ F.W.)
 } アントシアニン色素 (A; $\mu\text{g}/\text{mg}$ D.W.)

- no. 1-8 ... グループ (W)
 9-34 ... " (P)
 35-48 ... " (Y)
 49-57 ... " (OR)-(I)
 58-68 ... " (OR)-(II)

個体番号は表6-1表と関連。

(no. 49 は欠, no. 63 は橙色花)

表6-1図 キク属種の Hunter 色度図上に示ける分布



● ▲ ■ --- $0 < C \leq 0.09$
 ○ △ □ --- $0.09 < C$

カロチノイド色素 (C; $\text{mg}/\text{mg F.W.}$)

○ ● --- $0 < A \leq 0.50$

△ ▲ --- $0.50 < A \leq 15.00$

□ ■ --- $15.00 < A$

アントシアニン色素 (A; $\text{mg}/\text{mg D.W.}$)

NO. 1-8 --- グループ (W)

9-34 --- " (P)

35-48 --- " (Y)

49-57 --- " (OR)-(I)

58-68 --- " (OR)-(II)

個体番号は表6-1表
と関連

(NO. 49 は 欠, NO. 63 は 橙色花)

表6-2図 キク品種のL, b座標上における分布

*6-3表 L, a, b, $\sqrt{a^2+b^2}$ 値と アントシアニン色素含量 および カロチノイド色素含量との関係

グループ	U.C.S.表色系	相 関 係 数	
		アントシアニン色素	カロチノイド色素
	L^A	-0.83^{**}	0
桃色花	a	0.63^{**}	
	b		
	$\sqrt{a^2+b^2}^B$	0.56^{**}	
黄色花 ^C	a		
	b		0.82^{**}
	$\sqrt{a^2+b^2}$		0.92^{**}
橙色花	a	0.96^{**}	0.34
	b	-0.27	0.94^{**}
	$\sqrt{a^2+b^2}$	0.22	0.92^{**}
赤色花	a	-0.32	-0.67^{**}
	b	-0.89^{**}	0.45
	$\sqrt{a^2+b^2}$	-0.55	0.84^{**}

A --- 全品種の L 値(明度)

B --- 彩度, C --- 白色花グループを含む

* --- 1% レベルで有意

** --- 5% レベルで有意

つて、算う(48)により指摘されているように、値でも、ある程度アントシアニン色素含量を推測できるものと思われ。

桃色花グループでは、アントシアニン色素含量と a 値および彩度($\sqrt{a^2+b^2}$)の間には1%レベルで有意な正の相関が、また、黄色花(白色花グループを含めて)グループでは、カロチノイド色素含量と b 値および彩度との間には非常に高い正の相関が認められた。したがって、桃色花グループでは、アントシアニン色素含量の増加により彩度が高くなるわけであるが、他方で、明度が低下するので視感的に高く感じにくく、彩度が高くなる。同様に、黄色花グループでもカロチノイド色素含量の増加により、彩度は著しく高くなった。しかしながら、桃色花グループでは、アントシアニン色素含量がある量(約20 $\mu\text{g}/\text{mg}$ D.W.)以上に増加すると、 a 値が逆に小さくなり、彩度も低下した。

この現象は単にアントシアニン色素含量の増加のみによって説明しうるものではなく、おそらく、フラボノール系色素などの関与が大きいものと思われ。

橙色花グループでは、 a 値とアントシアニン色素含量、 b 値とカロチノイド色素含量の間に高い相関がみられ、アントシアニン色素含量の増加により色相はより赤の方へ移る。たが、それと同時に、カロチノイド色素含量が減少すれば、彩度は低くなり、色調は桃色に近くなる。また、カロチノイド色素含量が減少せず、アントシアニン色素含量が増加すると、非常に彩度の高い橙色となる（例：Fred Yule）。

以上のグループとは異なり、赤色花グループでは b 値とアントシアニン色素含量、あるいは a 値とカロチノイド色素含量の間に相関関係が認められ、 a 値とアントシアニン色素含量の間に相関が認められなかった。これは、赤色が濃くなると、

と、色素。ト花章差のらの説らで測し、分
 こで、色リ、ル素。フの本色そセフ、確かのに、花
 ずの、ンがれ、グ、色。ヘ種、ひ、一、度、も、能、に、学、
 表、も、ニ、下、ら、花、系、る。ス、品、が、よ、ら、た、カ、出、光、る、花、可、能、科、学、は、
 毛、ア、ア、が、け、色、ル、れ、の、フ、た、お、か、れ、ハ、検、吸、す、る、を、可、彩、る、法、
 合、示、シ、度、上、桃、一、わ、弁、キ、し、量、果、ら、ル、の、へ、に、よ、現、を、色、あ、オ、
 度、を、ト、明、が、は、ノ、鬼、花、類、定、結、け、ト、素、そ、能、に、表、別、の、で、の、
 の、と、ン、て、と、は、ボ、と、生、ら、分、の、色、付、ク、色、可、計、ナ、識、色、の、析、
 色、こ、ア、ッ、こ、に、ラ、の、カ、に、素、測、裏、へ、有、た、を、差、的、の、花、も、分、
 赤、る、て、よ、る、下、フ、も、て、型、フ、色、の、が、不、含、ま、定、色、観、異、は、る、器、
 て、が、し、に、す、低、る、り、の、一、卑、色、性、の、量、推、客、変、計、す、機、
 っ、く、と、加、下、の、に、い、お、ブル、主、花、弁、微、し、の、た、の、色、差、に、の、
 よ、が、因、増、低、度、様、て、に、一、ブル、主、花、弁、微、し、の、た、の、色、差、に、の、
 に、き、原、の、も、彩、同、し、章、カ、4、け、よ、の、生、は、可、能、含、る、花、が、容、れ、
 値、で、の、量、度、の、と、よ、前、ル、色、に、計、分、に、刻、を、色、あ、色、微、た、析、
 α、が、そ、含、彩、こ、フ、関、ル、色、に、計、分、に、刻、を、色、あ、色、微、た、析、

発現機構の解明に役立つものであり、
花色に關する植物化学的、遺伝育種
学的研究への広範な応用が期待され
る。

オウ章 花色発現に及ぼす温度
の影響

1) 緒言

花の色は、体内の要素と体外の要素因異
とによる。て支配される、種々の変異
を示す。系が、体内の要素と、し、先ず
遺伝子の系統、その遺伝子との
支配素の生成、す、個性
素類が、生存量、共存色
種して、差、異、か、ら、花、色、が、発

他方、その花色素を構成している色素のうち、特にアントシアニン色素の外因性に、カルシウムの量的差異が生じ、その結果、花色の変異が生じる。外因として、その主たるものとして、温度と光がある（112）。

今日の花卉生産において、キクの占める割合は非常に大きく、切花としても、はち物（ポットマム）としても

もその傷要は大きいい。それらの生産は、露地栽培に よる ところも大きいたが、自然の立地条件も 生かした施設下における促成、抑 制栽培も多く、最近の施設園芸の発達にもない、一層、その栽培は広範なもので、施設栽培では高温下で花の色が 生じた。特に被覆材料によつては十分なること、発現がみられなかつたところである。これは経験せられていふところの発現、特に色素形成との関係を明らかにする。これは、花弁を生産する立場から、あるいは、花弁を利用する立場から、重要なことである。――本章では、外的要因として、温度を上げ、温室等施設下での基礎生産に於ける品質向上に 関する基礎資料を得たために、色彩科学的な測定と、色素の抽出、定量分析を行なつて、花色の発現に及ぼす温度の影響を説明しようとした。

2) 材料および方法

供試した品種は、切花用あるいは盆栽用のキクである精興美山、Delaware, Yellow Mefo の3品種で、花色はそれぞれ赤紫色、赤色、黄色である。これらの花色を構成する主色素は4章で記したように赤紫色花ではアントシアニン色素、赤色花ではアントシアニン色素とカロチノイド色素、黄色花ではカロチノイド色素であり、フラボノール系色素は3花色に共通してみられる。

1970年7月8日にさし芽したもの、7月31日には上げし、慣行法によりはす栽培し、1はちあたりに2本植えにし、8月10日にピンチも行なう。本仕立てとし、1茎3花用とした。それを1区に2はちずつ、1区に12花を供試するニとも原状供試としたが、蕾の発達状態や開花状態から区によって花数は異なり、供試花数は7~12花となった。

9月29日より10月23日までに、湿

温度処理適期になつた個体を順次制御温度下に移した。この処理適期とは、花卉がわずかに着色した時としく（写真ワ-1）、制御温度下で外側の花卉が展開しきつた時を南花として、その時点て試料を採取した。その試料について、花卉の測色を行なうと同時に、 40°C で花卉を乾燥し、色素分析用の試料とした。

花色の測色は測色色差計（NDK-5型、日本電色工業）を用いた。測色は1花につき2花卉を供試し、平均値をもって、その区の花色とした。花色はL、a、b値で表わした。

温度処理にはすべて、 10° 、 20° 、および 30°C のファイトトロン室を使用し、花色発現に及ぼす昼温、夜温の影響をみるため、昼間（D; a.m. 9:00 - p.m. 5:00）と夜間（N; p.m. 5:00 - a.m. 9:00）の温度を変えた。日長はすべて自然日長とした。

アントシアニン色素の定量は乾燥花卉粉末20mgより1%塩酸-メタノール50mlで色素を抽出し、精興美山



写真 7-1. 温度処理適期
(品種, 精興美山)

は 533_{nm} で, Delaware は 530_{nm} で 吸光度 (O. D.) を測定して行ない, 色素含量を O. D. で表した。カロチノイド色素の定量は, $20mg$ の乾燥花弁粉末から石油ベンジン, アセトン混液 (4:1, $\frac{1}{10}$) $25ml$ で色素を抽出して行ない, Delaware, Yellow Mefo 両品種とも 43_{nm} での O. D. を測定して, 含量を O. D. で表した。

その他, 開花期, 花径, 花重, $\frac{D}{R}$ 率 (D) 管状花, (R) 舌状花) を調査し,

生育に対する昼温，夜温の影響をみた。これら温度処理区に対して，戸外の自然温度下で栽培する区を設けた。

3) 結 果

各品種について，各区に供試された個体の草姿，花数等はオク-1表に示した。

(i) 生育に対する昼温，夜温の影響

開花期，花径，および花重に及ぼす温度の影響をオク-2表に示した。温度処理開始から開花—花色の測定を行な，その時点—までの所要日数は，昼温 10°C 区(D10)で最も多く20日前後を要した。その中でも，夜温(N)を昼温と同じ 10°C にした場合，開花までには，さらに多くの日数を要し，精興美山と Delaware で7日，Yellow

Mefoで5日、それぞれ所要日数は多くなつた。これとは逆に、最も開花が早かつたのは、D20-N20区あるいはD30-N20区であつて、開花までに15~16日を要した。

次に、花径、花重、D/R率に対する昼夜温の影響についてみると、昼温に10°C、夜温に30°Cといった温度条件が、どちらか一方にでも入ると、花径、花重は減少する傾向が認められ、写真にもみられるごとく、花の中心部に近くなると花弁ほど伸長しなかつた(写真7-2~13)。昼夜の温度条件として、キクの開花——すなわち、開花所要日数、花の品質(花径、花重)——に最もよいのは、D20-N10区であつた。

(ii) 花色に対する昼温、夜温の影響

開花期に花弁色を測色し、Hunter色度図に示した(表7-1, 2, 3図)。

表7-1 温度処理実験に供試した各品種の草姿と
供試花序数および調査花序数

昼温 (D)	夜温 (N)	精興美山				Delaware				Yellow Memo			
		草丈 cm	葉数	供試花序数	調査花序数	草丈 cm	葉数	供試花序数	調査花序数	草丈 cm	葉数	供試花序数	調査花序数
10℃	10℃	34.6	16.0	9	9	23.7	16.3	9	3*	40.7	13.6	8	8
	20	32.6	15.0	11	9*	23.3	15.6	10	8*	43.6	14.4	8	8
	30	32.2	14.9	9	9	24.2	16.0	6	5*	41.9	13.3	9	9
20	10	32.5	14.6	10	10	23.3	13.4	9	9	46.5	15.2	9	9
	20	34.4	15.9	9	9	23.2	12.6	9	9	40.4	12.8	10	10
	30	33.2	14.6	10	10	22.2	13.9	9	9	40.4	13.1	8	8
30	10	34.0	15.1	11	11	23.6	14.3	9	9	45.2	14.7	9	9
	20	32.0	16.3	12	12	23.6	12.1	9	9	43.8	15.1	7	7
	30	33.2	14.9	10	10	22.6	12.6	8	8	42.1	13.5	10	10
戸外**		33.6	14.3	10	10	23.5	13.9	9	9	44.3	14.6	10	10

* 開花がみられず、調査不能の花があった。

** 自然温度下で開花。

*7-2表 南花所要日数, 花径, 花重および
P/R率に及ぼす温度処理の影響

昼温 (D)	夜温 (N)	精興美山				Delaware				Yellow Mefo			
		南花所 要日数	花径	花重	P/R率*	南花所 要日数	花径	花重	P/R率	南花所 要日数	花径	花重	P/R率
		日	cm	g	%	日	cm	g	%	日	cm	g	%
10℃	10℃	27.0	5.0	1.15	26.6	26.0	8.2	3.36	127.3	22.6	7.1	2.40	18.5
	20	20.0	5.1	1.08	27.4	18.8	8.6	3.09	143.6	18.3	7.8	2.40	20.9
	30	20.0	4.6	1.03	33.8	21.0	7.0	3.84	126.6	18.8	7.5	2.16	19.1
20	10	16.9	7.6	2.11	26.9	17.7	10.2	4.43	118.4	14.6	9.1	4.26	9.5
	20	15.4	7.8	3.00	24.5	15.1	9.8	4.04	103.9	17.1	8.4	3.80	35.4
	30	16.2	5.8	1.51	31.6	15.1	8.2	3.22	125.6	17.8	7.6	3.66	36.3
30	10	16.8	7.0	1.89	32.4	17.4	9.0	4.17	113.6	15.4	8.3	2.93	8.1
	20	15.0	6.5	1.82	26.7	15.9	8.3	3.17	98.5	12.9	8.4	3.70	27.2
	30	16.4	6.3	1.72	24.8	17.4	7.6	2.92	112.0	16.9	7.2	3.21	31.7
戸外**		14.2	7.8	2.76	27.9	16.9	10.3	5.55	124.9	18.6	9.8	5.15	32.1

* D---管状花, R---舌状花

** 自然温度下で南花

○ --- N10

● --- N20

× --- N30

△ --- 予外

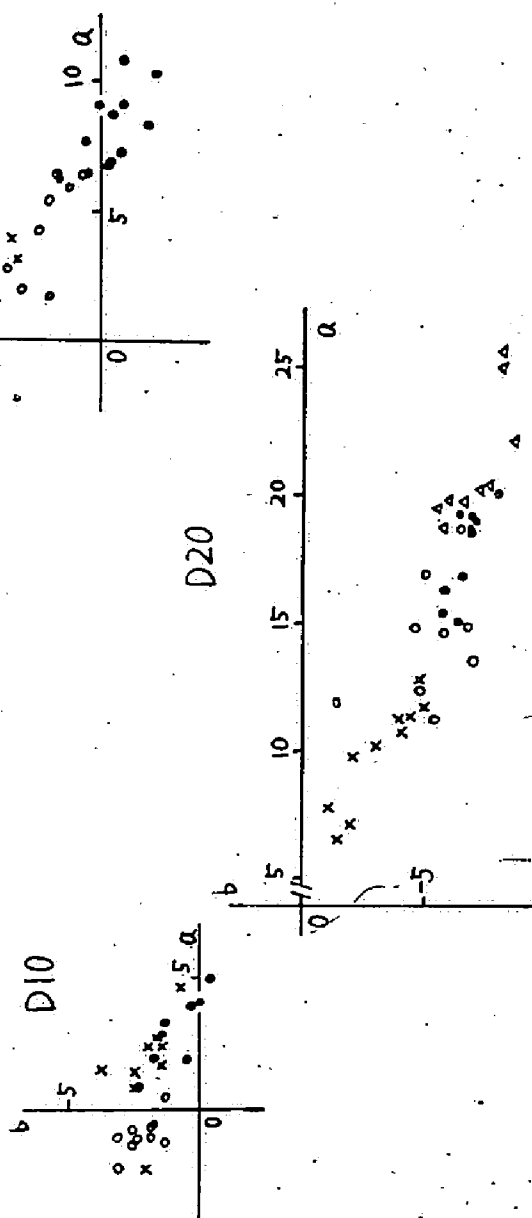
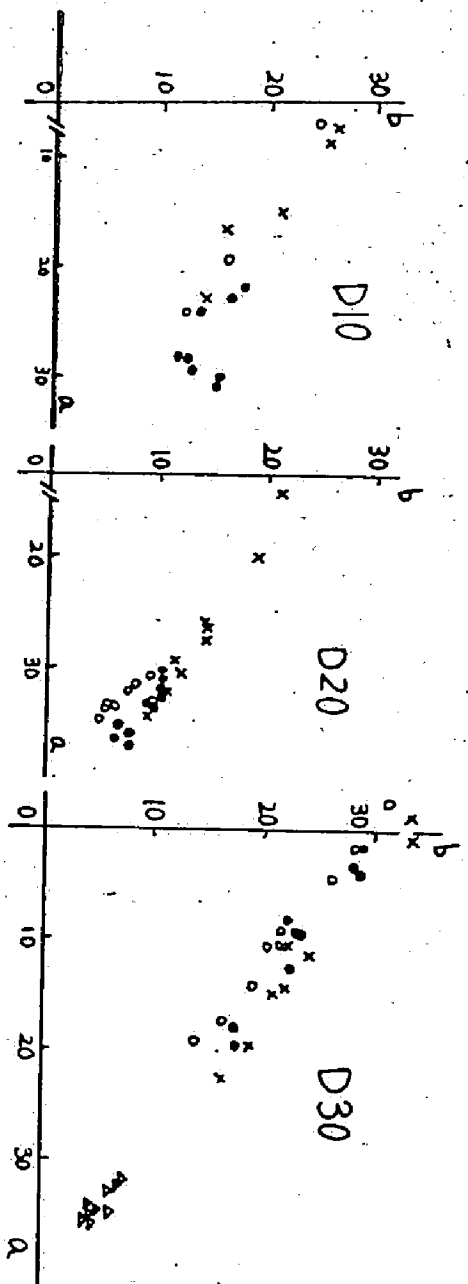
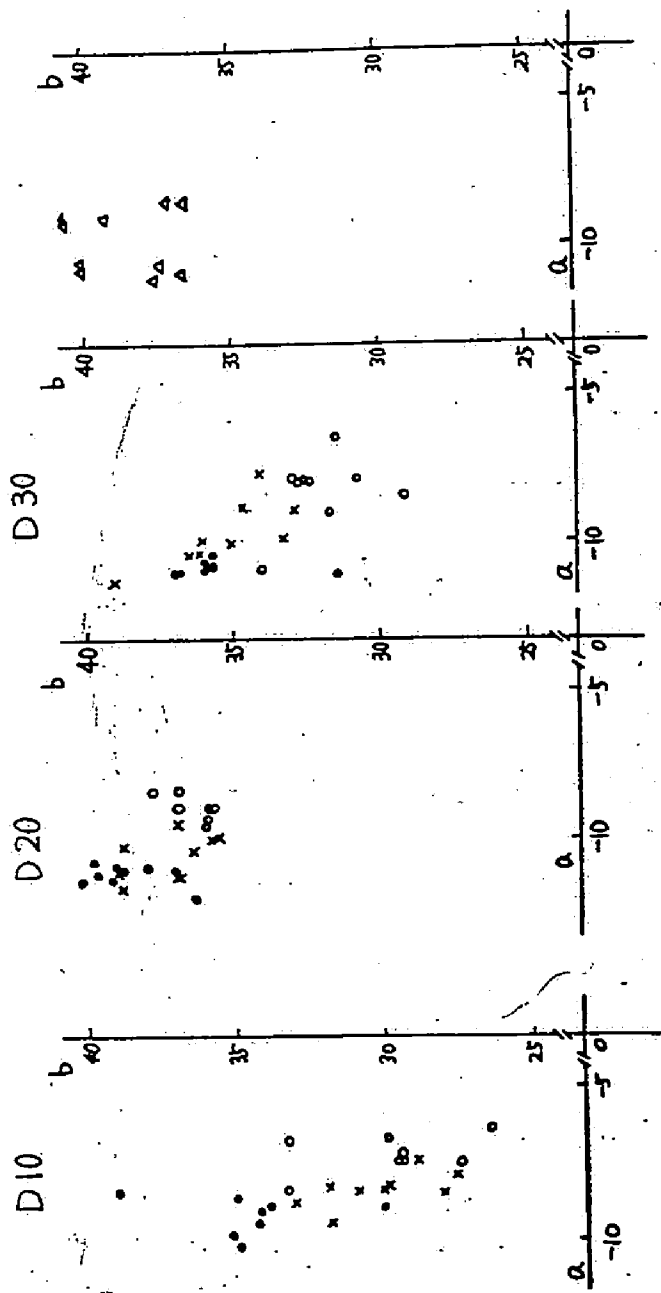


図 7-1 Hunter 色度図に示した温度処理による精興美山の花色変異



★7-2図 Hunter色度図に示した温度処理によるDelawareの花色変異



o... N10, x... N20,
 Δ... N30, Δ... ず外,

★7-3図 Hunter色度図に示した温度処理によるYellow Mefoの花色変異

この色度図上、精興美山の花色は、
a 値が (+) 側で"大きいほど"、赤紫色の
度合が濃く、b 値が (+) 側で"大きいほ
ど"、クリーム色が増してくる。戶外
区を精興美山の標準の花色とすれば、
昼温を 20°C とした場合、夜温を 20°C
にした D20-N20 区が最もそれに近
い色となり、夜温を 30°C にした場合
は花色が桃色となつた。昼温が 10°C
あるいは 30°C の場合は夜温が低くても
花色は濃くならず、すべてクリ
ーム色からだく白色となつた。昼温
を 10°C とした場合は花弁の周縁にア
ントシアニン色素の集積がみられた。

Delaware の花色変異を色度図に
示したが、色度図上の Delaware の花
色は a 値が (+) 側で"大きいほど"、赤色
の度合が濃く、b 値が (+) 側で"大きい
ほど"、黄色の強い色である。精興美
山と同様、昼温を 20°C にした場合、
最も戶外区の花色に近い濃赤色とな
り、昼温を 10°C あるいは 30°C とした
場合は、夜温を下げてても花色は銅色
～黄色となつた。



写真 7-2 品種, 精興美山
D10 - N10 区

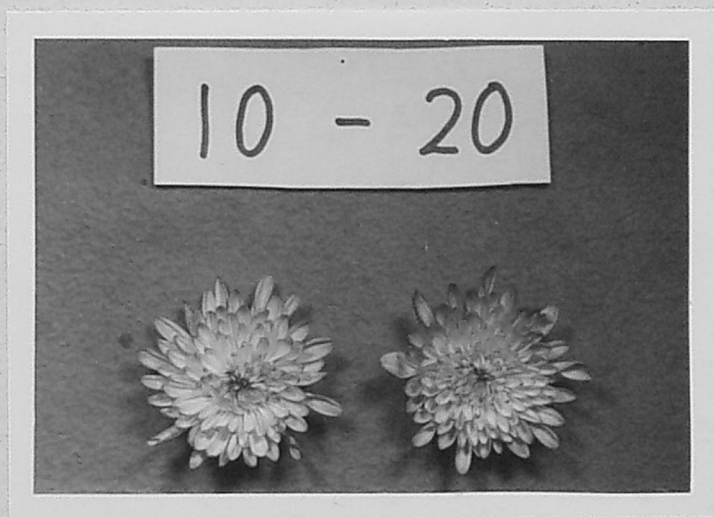


写真 7-3 品種, 精興美山
D10 - N20 区

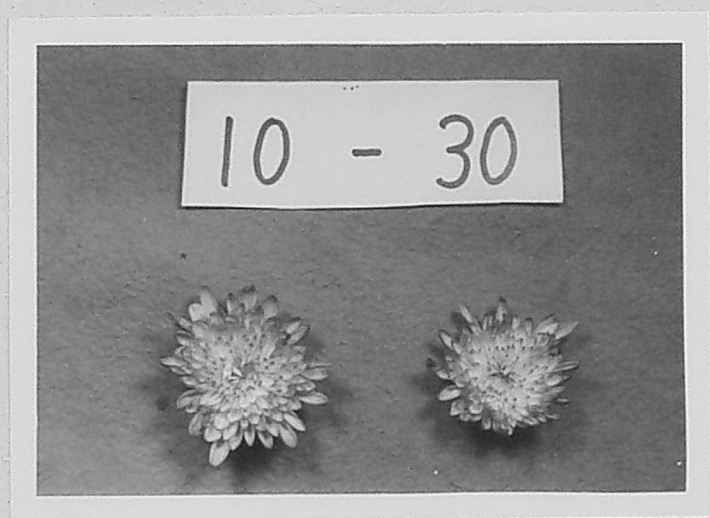


写真 7-4 品種, 精興美山
D10 - N30 区

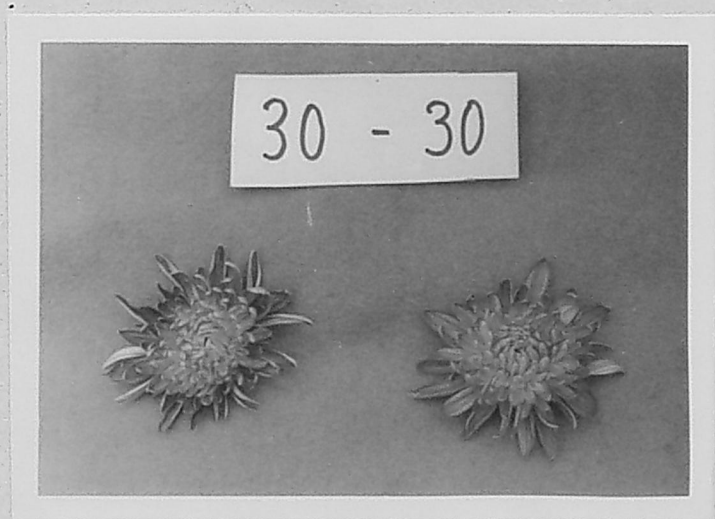


写真 7-5 品種, 精興美山
D30 - N30 区

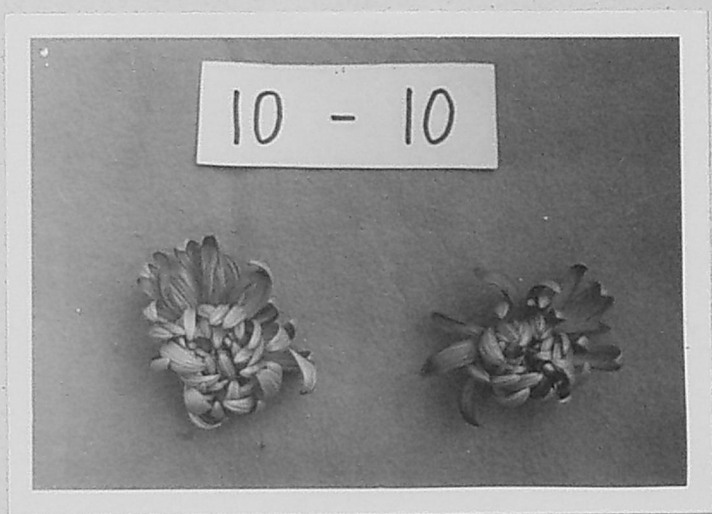


写真 7-6 品種, Delaware
D10 - N10区

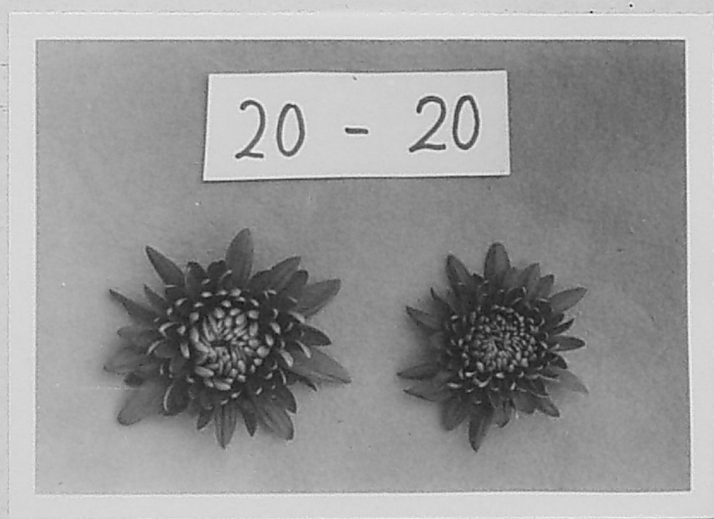


写真 7-7 品種, Delaware
D20 - N20区



写真 7-8 品種, Delaware
戶外区



写真 7-9 品種, Yellow Meta
戶外区

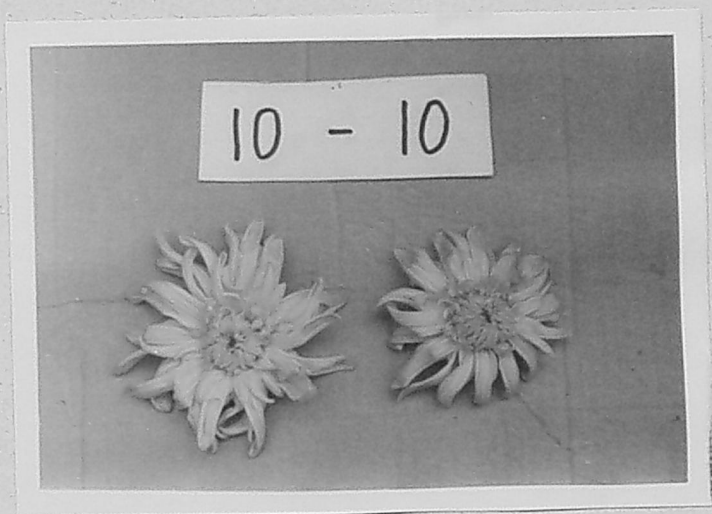


写真 7-10 品種, Yellow Mefo
D10 - N10 区

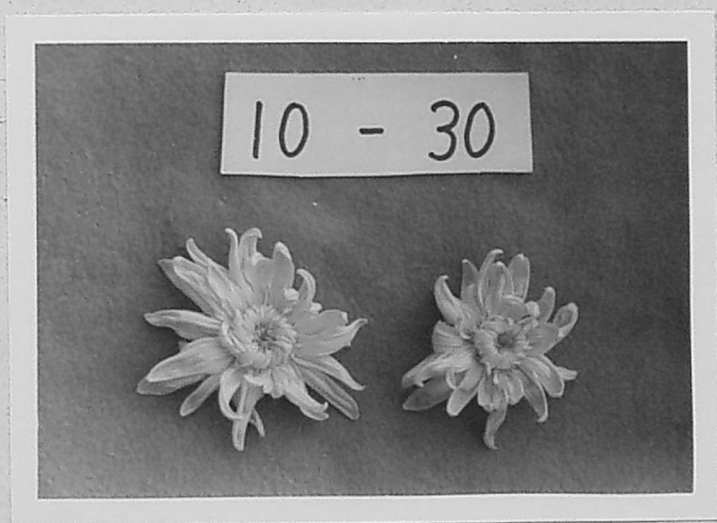


写真 7-11 品種, Yellow Mefo
D10 - N30 区



写真 7-12 品種, Yellow Mefo
D20 - N10 区

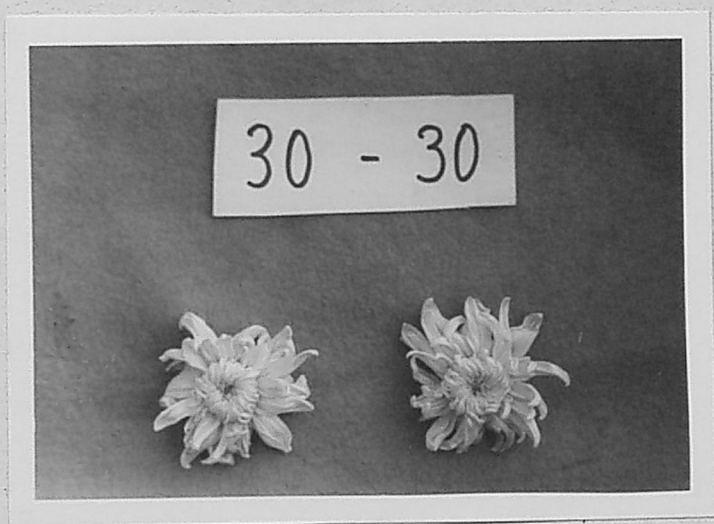


写真 7-13 品種, Yellow Mefo
D30 - N30 区

前2品種と異なつて、Yellow Mefoの花
色は、温度処理してもあまり変化
せず、やうすい黄色から濃黄色の
範囲内にあつた。

(iii) 色素含量に対する昼温、夜 温の影響

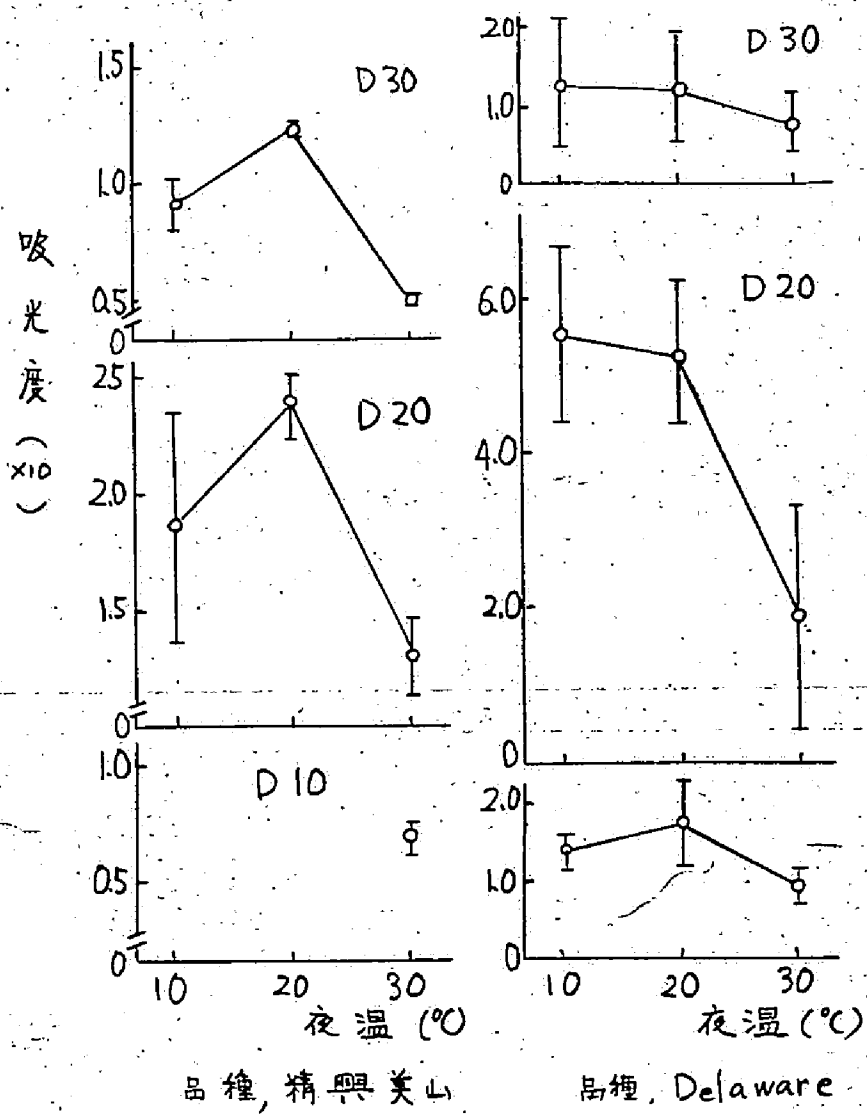
花色発現に最も影響の強いアント
シアニン色素とカロチノイド色素に
ついて、定量分析を行なつた(表4、
4、5図)。各区から肉眼で最も
花色の濃いもの、とうすいものを1個
体ずつ選び出し、計2個体について
色素含量を求め、平均値で表した。
精興美山の花色はアントシアニン
色素によつて、Delawareの花はア
ントシアニン色素とカロチノイド色
素によつて、Yellow Mefoの花は
カロチノイド色素によつて発現して
いる。アントシアニン色素含量に対
する温度の影響をみると、花弁にカ
ロチノイド色素を含まない精興美山

では、昼温が 20°C で夜温が 20°C 、すなわち D20-N20 区で最もアントシアニン色素含量は高く、夜温が 30°C と高くなると (D20-N30)、色素含量は約 $\frac{1}{2}$ に減った。逆に、夜温を 10°C に下げると (D20-N10)、D20-N30 区よりも色素含量は高いが、色素含量の個体間の差が大きくなった。昼温を 30°C とした場合、夜温を低くしても色素含量は高くなりながら、昼温 20°C 区と同様に、色素含量は $20^{\circ} > 10^{\circ} > 30^{\circ}\text{C}$ (夜温) の順で高かった。

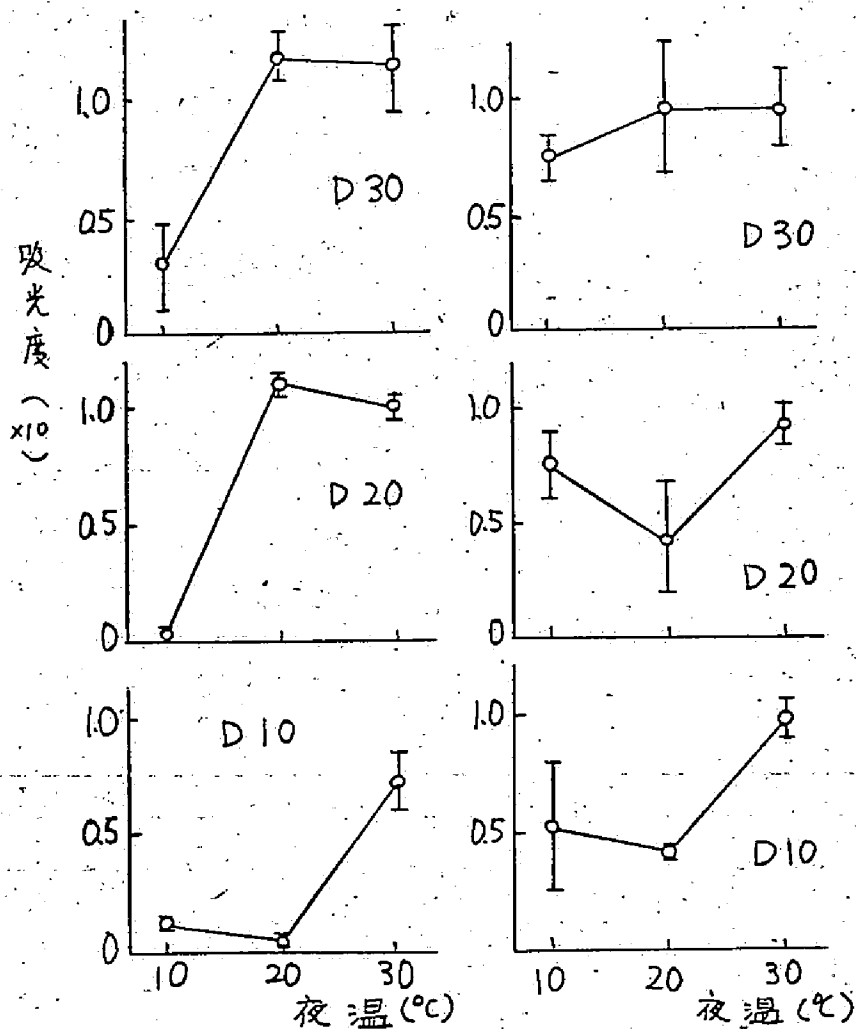
アントシアニン色素と同時にカロチノイド色素を含む Delaware でも、アントシアニン色素含量に対する温度の影響は、精興美山の場合とほぼ同様の傾向となった。

これらの結果は、色差計により測色された花色から推測された結果とよく一致していた。なお、精興美山の D10-N10、D10-N20 の各区は花弁量が少なく、色素の定量はできなかった。

他方、カロチノイド色素含量を計



ヤ7-4 図 アントシアニン色素含量に及ぼす
温度の影響



品種, Delaware 品種, Yellow Mefo

オキ-5図 カロチノイド色素含量に及ぼす
温度の影響

ると、Delaware, Yellow Mefo とともに、
温度処理による色素含量の変化はほ
ゞ同じような傾向を示したが、区間
における量的な差はあまり大きくな
かった。アントシアニン色素の場合
とは異なり、高温区ほどカロチノイ
ド色素含量は高くなる傾向がみられ、
夜温が 10°C の場合は、昼温が高くても、
カロチノイド色素含量は低く、
夜温が 30°C と高い場合は昼温が 10°C
と低くても色素含量はある程度高か
った。

4) 考 察

花色発現は含有色素の種類とその
含有量、あるいは細胞液のPH等によ
って変化するだけでなく、物理的な
要因、すなわち、花弁表皮細胞の形
態的差異によっても多様に变化する
という(91, 110)。このような花色の
多様な変化を肉眼的に判断すること
は、主観的要素が強くなり、適格な

表現が困難となりがちで、花色を色彩学的に測定する必要がある。寛ら(48, 49), 水谷(69), 新田(75)らはギフ花色の測色を行ない、花色を数値的に表現しているが、本実験でも、色差計により花色を測色し、個々の花色を数値的に表現し、微妙な花色の変異を把握することができた。

温度処理にともなう花色の変化を、Hunter色度図上でみると、各品種は特有な分布の仕方を示していることがわかる。精興美山の花色は、 $20^{\circ} \rightarrow 30^{\circ} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$ と処理温度の変化にともない、赤紫色 \rightarrow 桃色 \rightarrow 白色(ごく白色)と変化するが、色度図上ではある直線上を推移している。Delawareの花色変化も同様の推移を示している。精興美山の回帰直線は $b = -0.52a + 3.4$ 、Delawareのそれは $b = -0.67a + 30.2$ となった。両品種とも勾配がほぼ同じであることから、両品種の花色変化は、アントシアニン色素の量的な変化によるものであり、アントシアニン

ン色素とカロチノイド色素を含む Delaware で回帰直線とb軸との交点が大きな値を示していることは、カロチノイド色素は処理温度の影響をあまり受けないことを示しているものと思われる。

花色が、外的要因と内的要因によりその発現を異にすることは、よく知られていることで、花色変異に対する外的要因に関する研究は非常に多く、光(28, 59, 91, 93, 98)、温度(29, 30, 59, 64, 79, 81, 91, 106)、糖(17, 94, 95, 102, 103)、生長調節物質(4, 8, 14, 24, 27, 82, 92, 100, 108)等の色素形成に及ぼす影響が研究されてきた。ニ色素を扱ったものでは、カロチノイド色素を扱ったものは非常に少ない(105)。ギクの花色にあずかる色素は先に述べたように、フラボノイド色素とカロチノイド色素で、前者では特に、アントシアニン色素が花色発現に重要な役割をはたしている。そのアントシアニン色素は低温によって形成される場合が多いが、ギクにつ

いても、ほぼ同様の結果が得られている。Rutland (81) は品種、Orchid Queen を昼温 95°F と 85°F 、夜温 70°F と 60°F で栽培し、花色の発現をみたところ、昼夜温とも低い方が色素含量は高かったと報告している。

本実験では、さらに低い温度でも実験を行ったが、色素含量は昼温、夜温とも、 $20^{\circ} > 10^{\circ} > 30^{\circ}\text{C}$ の順となり、 30°C よりも 10°C の方が多少、色素含量は高くなった。しかし、芽キャベツでは、色素形成量は $20^{\circ} > 30^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$ の順となり (9)、リンゴでは $15^{\circ} > 25^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$ の順であると報告されている。これらの結果は実験方法が異なると、同一レベルで相互に比較検討することはできないけれども、アントシアニン色素形成に最適な温度は植物によって多少異なるものと考えられる。

この温度に対する色素形成反応が、その植物体の生育適温とも深い関係にあるものと思われる。すなわち、光合成と呼吸の関係に於いて、生育

に不適當な温度条件は光合成を阻害し、高温による呼吸の増大は糖の消費を多くし、ポントースサイクル、さらにはアントシアニン色素形成に向けられる糖の量を少なくするものと考えられる。Uota (106) は糖含量と色素含量の間の関連性を認めていないが、Thimann (102, 103), Smock (94), Klein (57) は糖の色素形成促進効果を認めており、また、Ratsek (79) はパウで、炭水化物含量が不足すると色素含量が低下し、花に退色現象が認められると報告している。

本実験では、糖あるいは、炭水化物含量を測定していないが、色素含量の高い区で花径、花重も大きいことを認めた。

統 括

供試材料には、アメリカで育成された切花用品種、その他に、古ク、伊勢ギク、および野生ギク、花壇用、小ギク、を用いた。

(1) これらの品種および野生ギクは、ほとんどが自家不和合性を示したが、品種によつては高い偽総性を示す場合があった。また、自殖後代も自家不和合性を示したが、品種、交野桜では、自殖後代に自家総性を示す個体がみられ、その総性は自殖次の代において観察された。

(2) 交野桜の自殖一代に、花物活性が高く、しかも、ほとんど同じ活性を示す9個体が得られたので、それら9個体を用いて、相互交雑を行ない、他のキク科植物に共通してみられる不和合性遺伝子に關する仮説を適用したが、その仮説で、キクの不和合性を説明することはできなかつた。

(3) 品種および自殖一代，二代，三代における花色分離を調査した結果，主として，白色花からは黄色花，黄色花からは橙色花，橙色花からは黄色花，桃色花からは全花色の分離がみられたが，どの花色の場合も母本と同じ花色の分離が最も多く，赤色花を母本とした場合，自殖後代はほとんど赤色花であった。

これらの結果から，キクの花色遺伝は二対の対立遺伝子によって説明できるが，さらに，polygenic system, 補足遺伝子の存在が推測された。

(4) キク品種の花弁には，フラボノール系色素，アントシアニン色素，およびカロチノイド色素の存在が確認され，フラボノール系色素として apigenin, luteolin が，カロチノイド色素として taraxanthin が同定された。

アントシアニン色素としては cyanidin をアグリコンとする配糖体のみで，chrysanthemin の誘導体が認められた。

(5) キク品種の生花弁の吸収スペ

クトルを測定し、得られたスペクトル、カーブにみられる吸収極大のうち、 $350 \sim 370 \text{ nm}$ の吸収極大はフラボノール系色素によるものであり、 450 nm 付近の三つの吸収極大はカロチノイド色素によるものであり、 550 nm 付近の吸収極大はアントシアニン色素によるものであった。

このスペクトル・カーブはその型から4グループに分けられ、花色とそれを構成する色素は次のように関係づけられた。

(W) 白色花	...	フラボノール系色素
(P) 桃色花	...	フラボノール系色素
		アントシアニン色素
(Y) 黄色花	...	フラボノール系色素
		カロチノイド色素
(OR) 橙色～赤色花	...	フラボノール系色素
		アントシアニン色素
		カロチノイド色素

(b) キク属種の花色を構成する主要色素であるアントシアニン色素とカロチノイド色素の定量分析を各属

色素のドミナント色を高くした。彩度量のへでアと、
色色イの影響高。彩明量のへでアと、
た花ノ影響影のた。彩明量のへでアと、
れた千影に量つた。彩明量のへでアと、
得られ口は度含か色素特とした。彩明量のへでアと、
た。色に彩素高ンが、下色素の結果増加すると、
なで結果、明が、その度アニ判断の色素含量と花色の関係
行差した花か、その彩度アニ判断の色素含量と花色の関係
て色査はなかり、花アニ判断の色素含量と花色の関係
つと、調量いてお花アニ判断の色素含量と花色の関係
に量係素してほか、アニ判断の色素含量と花色の関係
種関係素してほか、アニ判断の色素含量と花色の関係
色ば及品他方に、影響を及ぼすアントシカニ判断の色素含量と花色の関係
に影深い増加するアントシカニ判断の色素含量と花色の関係
がため、影響を及ぼすアントシカニ判断の色素含量と花色の関係
主なアントシカニ判断の色素含量と花色の関係
彩度は高く、この色素含量と花色の関係
また、生花弁の吸収スペクトルカーブの型と花色の関係を検討した。
その結果、生花弁のスペクトルカーブによる花色の分類の妥当性が裏付けられた。

(7) キクの花色に及ぼす温度の影響をみたところ、赤紫色花および赤

色花では、低温において色調は濃くなり、アントシアニン色素含量は高かった。温度のアントシアニン色素含量に対する影響は、 $20^{\circ} > 10^{\circ} > 30^{\circ}\text{C}$ の順となった。黄色花では温度による花色の変化がなく、カロチノイド色素含量には温度の影響が認められなかった。

文 献

1. Abe, Y. and K. Hayashi. 1956. Further studies on paper chromatography of anthocyanins involving an examination of glycoside types partial hydrolysis. Studies on anthocyanins 29. Bot. Mag. Tokyo. 69: 577-585.
2. Ahuja, K. G., H. L. Mitchell, and W. J. Carpenter. 1963. Quantitative determination of anthocyanidin from petals of rose cultivars, Pink Coronet and Happiness. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 83: 829-832.
3. Atwood, S. S. 1942. Oppositional alleles causing cross-incompatibility in Trifolium repens. Genetics 27: 333-338.
4. Bamberger, E. and A. M. Mayer. 1960. Effect of kinetin on formation of red pigment in seedlings of Amaranthus retroflexus. Science 131: 1094-1095.
5. Bate-Smith, E. C. 1948. Paper chromatography of anthocyanins and re-

lated substances in petal extracts

Nature 161: 835-838

6. Bayer, E. 1958. Über den blauen Farbstoff der Kornblume. I. Natürliche und synthetische Anthocyan-Metall-Komplexe. Chem. Ber. 91: 1115-1122
7. ———. 1959. Über den blauen Farbstoff der Kornblume. II. Farbstoffe der roten, violetten und blauen Lupineblüten. ibid. 92: 1062-1071
8. Billerbeck, F. W., N. W. Desrosier and R. B. Tukey. 1953. The influence of 2,4,5-trichlorophenoxypropionic acid on the color of red-fruit apple varieties. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61: 175-179.
9. Blank, F. 1958. Anthocyanins, flavones, xanthones. in: Handbuch der Pflanzenphysiologie X: 300-353.
10. Bowen, H. J. M., P. A. Cawse and M. J. Dick. 1962. The induction of sports in chrysanthemum by gamma radiation. Radiation Bot. 1: 297-303.
11. ———. 1964. Mutations in horticultural chrysanthemums. in: The use of

- induced mutations in plant breeding' pp. 695-700. Pergamon Press.
12. Brewbaker, J. J. 1957. Pollen cytology and self-incompatibility system in plants. J. Hered. 48:271-277.
 13. Cham, A. P. 1966. Chrysanthemum and rose mutations induced by X-rays. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 88:613-620.
 14. Comstabel, F., J. P. Shyluk, and O. L. Gamborg. 1971. The effect of hormones on anthocyanin accumulation in cell cultures of Haplopappus gracilis. Planta. 96:306-316.
 15. Crowe, L. K. 1954. Incompatibility in Cosmos bipinnatus. Heredity 8:1-11.
 16. Davies, B. H. 1965. Analysis of carotenoid pigments. In 'Chemistry and biochemistry of plant pigments' (T. W. Goodwin eds.) pp. 489-532. Academic Press, London.
 17. Dornick, G. J. 1953. The chromosomes of chrysanthemum. II. Garden varieties. Heredity 7:59-72.
 18. ———, and A. El-Bayroumi. 1966

- The origin of new forms of the garden chrysanthemum. Euphytica 15: 32-38.
19. East, E. M. and A. J. Mangelsohn. 1925. A new interpretation of the hereditary behavior of self-sterile plants. Proc. Natl. Acad. Sci. (U.S.) 11: 166-183.
20. 遠藤元庸・山田健二. 1972. 栽培ギクの花色に関する研究. 1. 赤色系ギクのアントシアニン色素発現について. 岐阜大農研報. 33: 51-63.
21. 遠藤伸夫. 1969. 栽培ギクの染色体研究. (オ1報). 栽培ギクの染色体数について(その1). 園学雑誌. 38: 267-274.
22. ————. 1969. 同. (オ2報). 同. (その2). 同. 38: 343-349.
23. Endo, T. 1962. Inheritance of anthocyanin concentrations in flowers of Torenia fourmieri. Jap. J. Genet. 37: 284-290.
24. Fults, J. L. and L. A. Schaal. 1948. Red skin color of bliss triumph potatoes increased by the use of synthetic

- plant hormones. Science. 108:411.
25. Gerstel, D.W. 1950. Self-incompatibility studies in guayule. II. Inheritance. Genetics 35:482-506.
26. Goodwin, T.W. 1955. Carotenoids. In 'Modern methods of plant analysis' (K. Peach and M.V. Tracey eds.) vol. II. PP. 272-310, Springer, Heidelberg.
27. Gowing, D. P. and A. H. Lang. 1962. Changing the color of flowers with chloroalkyl-carboxylic acid. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 80:645-649.
28. Grill, R. and D. Vince. 1964. Anthocyanin formation in turnip seedlings (Brassica rapa L.). Evidence for two light steps in the biosynthetic pathway. Planta 63:1-12.
29. Hall, I. V., F. R. Forsyth, and R. J. Newbery. 1970. Effect of temperature on flower bud and leaf anthocyanin formation in the lowbush blueberry. HortSci. 5:272-273.
30. Haman, J. J. 1959. Influence of day temperatures on growth and flowering of

carnations. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 74:
692-703.

31. Harborne, J. B. and H. S. A. Sherratt.
1961. Plant polyphenols. 3. Flavonoids
in genotypes of Primula sinensis.
Biochem. J. 78:298-306.

32. ———. 1965. Flavonoids; Distri-
bution and contribution to plant colour.
In 'Chemistry and biochemistry of plant
pigment' (T. W. Goodwin eds.), pp. 247 -
278. Academic Press, London.

33. ———. 1967. Comparative biochemi-
stry of the Flavonoids. Academic
Press, London.

34. 服部 - 三 達原雄三. 1970. キフ
の花 色突然変異に關する 遺伝育
種学的研究. 1. 花色突然変異に
おける色素のクロマト分析.
Japan J. Breeding 20:261-268.

35. Hauser, E. J. P. and J. H. Morrison
1964. The cytochemical reduction of
nitro blue tetrazolium as an index
of plant viability. Amer. J. Bot.
51: 748-752.

36. 林孝三, 1937. 暗赤色菊花色素の単離について. 植雜. 5:168-172.
37. Hayashi, K., N. Saito, M. Sukekawa and Y. Osawa. 1972. Infra-red spectra of anthocyanins and anthocyanidins providing additional data for their identification. Sci. Report Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. B. 14:293-312.
38. 樋口春三, 1968. Petunia hybrida の自家不和合性に関する研究. (文4報) 反復受精による偽総性誘起の生理. 園芸学会, 昭43秋. 研究要 pp. 214-215.
39. 日向康吉, 1967. 自家不和合性の制御と育種. 育種学最近の進歩 9:33-41.
40. ———, 1969. 自家不和合性のメカニズム. 化学と生物 7:196-201.
41. 日置隆一, 1966. 色彩科学ハンドブック. pp. 71-140, 南江堂, 東京.
42. 細川定治, 加藤勝信, 1963. 7

人菜の自家不稔性におよぼす遮
光処理の影響について、育雜。
13: 229-234.

43. Howard, G. S. 1962. The results of breeding for red flower color in garden chrysanthemums. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 81: 506-509.
44. Hughes, M. R. and E. B. Babcock. 1950. Self-incompatibility in Crepis foetida L. Genetics 35: 570-588.
45. Jackson, A. A. 1971. Chrysanthemum breeding at Wye College. J. Roy. Hort. Sci. 96: 23-29.
46. Jank, H. 1957. Experimentelle Mutationsauslösung durch Röntgenstrahlen bei Chrysanthemum indicum. Der Züchter. 27: 223-231.
47. Jorgensen, E. and T. A. Geissman. 1955. The chemistry of flower pigmentation in Antirrhinum majus color genotypes. III. Relative anthocyanin and aurone concentrations. Arch. Biochem. Biophys. 55: 389-402.
48. 笥三男、横田弘司、山内弘毅、

1965. 赤色系キクの色調とアントシアニン色素について. 園学雑. 34: 232-236.

49. ————, ————, ————. 1969. 赤色系キクの色調におよぼす施肥の影響. 広島農短大研報. 3: 60-63.

50. ————, ————. 1969. 赤色系キクの色調と Anthocyanin 色素について. Chrysanthemum の単離ならびに Chrysanthemum 含有量と花の色. 広島農短大研報. 3: 189-192.

51. Karrer, P. und E. Jucker. 1943. Carotinoid aus den Blüten von Winterastern, Chrysanthemum anthem. Helv. Chim. Acta. 26: 626-630.

52. ————, ————, J. Rutschmann und K. Steinlin. 1945. Zur Kenntnis der Carotinoid-epoxyd. Natürliches Vorkommen von Xanthophyll-epoxyd und α -Carotin-epoxyd. Helv. Chim. Acta. 28: 1146-1156.

53. 柏熊正一, 松原幸子, 塚本洋太郎. 1966. キクの育種に関する研究. 9. 種々の温度条件下に

おける花粉活性度及び発芽率.
園芸学会, 昭和春, 研究要, 39.
287-288.

54. 河瀬晃四郎 1968. 色差計によ
るキク花卉色の色彩学的分析.
未発表.

55. Kawase, K., Y. Tsukamoto, N. Saito, and
Y. Osawa. 1970. studies on flower
color in Chrysanthemum morifolium
Ramat. 1. Anthocyanins. Plant
Cell Physiol. 11:349-353.

56. 河瀬晃四郎, 塚本洋太郎, 1974.
キクの花色に関する研究(第2報).
生花卉の吸収スペクトルについて.
園学雑誌 43: 165-173.

57. Klein, A. D. and C. W. Hagen, JR. 1
961. Anthocyanin production in detached
petals of Impatiens balsamina L.
Plant Physiol. 36: 1-9.

58. 黄敏展, 1967. X線照射による
キクの変異, 主に花色に関する
研究. 京都大学位論文.

59. Kosaka, H. 1932. Über den Einfluss
des Lichtes, der Temperatur und des

Wassermangels auf die Färbung der
Chrysanthemum - Blüten. Bot. Mag. Tokyo.
46: 551-560.

60. Kuroda, C. and M. Wada: 1936. The
constitution of natural colouring
matters, kuromamin, shisonin and
nasumin. Bull. Chem. Soc. Japan. 11:
272-287.

61. Ling, L., R.E. Widmer and R. Mullin
1966. Influence of temperature, nutri-
tion and combining ability on seed
production in chrysanthemum. Proc.
Amer. Soc. Hort. Sci. 88: 621-626.

62. Little, T. M., J. H. Kantor and B. A.
Robinson, JR. 1940. Incompatibility
studies in Cosmos bipinnatus.
Genetics 25: 150-156.

63. Mabry, T. J., K. R. Markham and M. B.
Thomas, 1970. The systematic identi-
fication of flavonoids: Springer-
Verlag, New York.

64. Marousky, F. J. 1967. Effects of
temperature on anthocyanin content
and color of poinsettia bracts. Proc.

Amer. Soc. Hort. Sci. 92: 678-684.

65. 松原尚生、橋本貞夫、1971. ポトマム苗へのγ線照射と育種効果 [1]. 農業および園芸, 46: 515-519.
66. 松原幸子、1973. 園芸作物の不和合性に関する研究 (第1報). ユリの自家不和合性打破について. 園芸学会、昭48秋、研究要、pp. 298-299.
67. Mitsui, S., K. Hayashi, and S. Hattori. 1959. Crystallization and properties of commelinin, a blue metallo-anthocyanin from commelinin. Studies on anthocyanins. 31. Bot. Mag. Tokyo. 72: 325-333.
68. Miyake, K. and Y. Imai. 1934. A chimerical strain with variegated flowers in Chrysanthemum sinense. Zeitschr. Abst.-u. Vererbungslehre. 68: 300-302.
69. 水谷房雄 1972. キクの花色に関する研究. 植物生長抑制物質がキクの花色におよぼす影響. 近大農紀要. 5: 15-20.

70. Mulford, F. L. 1937. Results of selfing 24 early blooming chrysanthemums. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 35: 818-821.

71. 中島健次 1967. キクの人偽突然変異体におよぼすγ線再照射の影響, 園芸学会, 昭42春, 研究季, PP. 302-303.

72. 西山市三 1961. 細胞遺伝学研究法, 養賢堂.

73. 丹羽鼎三 1931. 菊の授粉及自家不受胎性に就て(梗概), 日本学術協会報告 6: 479-487.

74. ———, 堤久雄 1952. 菊授精の機構と其の経過, 造園雑, 15: 26-31.

75. 新田伸三 1956. 造園植物の測色学的研究 (IV, V, VI) バラ, ハナショウブ, グラジオラス, キクの花色の測定, 造園雑, 19: 1-9.

76. 岡田正順 1957. キク '花と蔬菜の育種' (志佐誠, 近藤典生監修) PP. 216-224. 誠文堂新光社,

東京

77. Osawa, Y. and N. Saito, 1968.
Electron spin resonance studies on
anthocyanins. *Phytochem.* 7:1189-1195.
78. ———, ———, and K. Ishizuka. 19
69. Electron spin resonance study of
anthocyanins with special reference to
a micro-technique for non-crystal-
line specimens. *Meijigakuin Ronso.*
148:1-16.
79. Ratsek, J. C. 1944. The effect of
temperature on broom color of roses.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 44:549-551.
80. Robinson, G. M. and R. Robinson. 1932.
A survey of anthocyanins. *Biochem. J.*
26:1647-1663.
81. Rutland, R. B. 1968. The effect of tem-
perature on the concentration of antho-
cyanin in pink flowers of Chrysam-
themum morifolium Ram. cv. 'Orchid
Queen'. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 93:
576-582.
82. Ryugo, K. 1966. Persistence and mo-
bility of Alar (B-995) and its effect

- on anthocyanin metabolism in sweet cherries, Prunus avium. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 88: 160-166.
83. Sagawa, Y. and G. A. L. Mehlquist. 1957. The mechanism responsible for some X-ray induced changes in flower color of the carnation, Dianthus caryophyllus. Amer. J. Bot. 44: 397-403.
84. Saito, N. 1967. Light absorption of anthocyanin-containing tissue of fresh flowers by the use of the opal glass transmission method. Phytochem. 6: 1013-1018.
85. ———, K. Hirate, K. Hotta and K. Hayashi. 1964. Isolation and crystallization of genuine red anthocyanins. Studies on anthocyanins, 44. Proc. Japan Acad. 40: 516-521.
86. ———, K. Ishizuka and Y. Osawa. 1970. Paper-chromatographic identification of flavonoids from a scarlet-flowering dahlia and crystallization of pelargonin and butein. Bot. Mag.

Tokyo. 83: 229-232.

87. 佐俣淑彦・松井孝・片倉淳. 1968. 菊科鑑賞用植物の偽総に関する研究, (1) コスモスおよびヤグルマソウについて. 玉川大農研報, 7-8: 7-13.

88. Sampson, D. R., G. W. R. Walker, A. W. S. Hunter, and M. Bragdø. 1958. Investigations on the sporting process in greenhouse chrysanthemums. Canad. J. Plant Sci. 38: 346-356.

89. Shibata, K. 1958. Spectrophotometry of intact biological materials. J. Biochem. 45: 599-623.

90. 下斗米直昌. 1935. 菊の生態と細胞遺伝, 養賢堂, 東京.

91. 志佐誠・高野泰吉. 1964. バラの花色発現に及ぼす温度および光の影響, 園学雑誌, 33: 140-146.

92. Skulman, Y. and S. Lavee. 1971. The effect of kinetin on anthocyanin formation in green harvested olive fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 808-810.

93. Siegelman, H. W. and S. B. Hendricks. 1958. Photocontrol of anthocyanins synthesis in apple skin. *Plant Physiol.* 33: 185-190.
94. Smock, R. M. 1966. Laboratory studies of anthocyanin development in McIntosh apples. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 88: 80-88.
95. Sondheimer, E. and F. A. Lee. 1949. Color change of strawberry anthocyanin with D-glucose. *Science* 109: 331-332.
96. Stewart, R. W., S. Asen, K. H. Northis and D. R. Massie. 1969. Relation of flower color to optical-density spectra of intact tissue and of anthocyanin extracts. *Amer. J. Bot.* 56: 227-231.
97. Stewart, R. N. and H. Dermien. 1970. Somatic genetic analysis of the apical layers of chimeral sports in chrysanthemum by experimental production of adventitious shoots. *Amer. J. Bot.* 57: 1061-1071.
98. Straus, J. 1959. Anthocyanin synthesis in corn endosperm tissue cultures

- 1. Identity of the pigments and general factors. *Plant Physiol.* 34: 536-541.

99. 杉山 晃, 高野泰吉, 1968. キノの花色変異に関する研究 (第1報). 園芸学会, 昭43秋, 研究要, pp. 202-203.

100. Swanson, C. R., S. B. Hendricks, V. K. Toole, and C. E. Hagen, 1956. Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and other growth-regulators on the formation of a red pigment in Jerusalem artichoke tuber tissue. *Plant Physiol.* 31: 315-316.

101. Takeda, K. and K. Hayashi, 1963. Further evidence for the new structure of violamine as revealed by degradation with hydrogen peroxide. *Studies on anthocyanins*, 41. *Proc. Japan Acad.* 39: 484-488.

102. Thimann, K. V. and Y. H. Edmondson, 1949. The biogenesis of the anthocyanins. I. General nutritional conditions leading to anthocyanin forma-

- tion. Arch. Biochem. Biophys. 22: 33-53.
103. ———, ———, and B. S. Radmer. 1951. The biogenesis of the anthocyanins. II. The role of sugars in anthocyanin formation. Arch. Biochem. Biophys. 34: 305-323.
104. 徳増智. 1968. 偽受精と育種. 育種学最近の進歩 9: 3-12.
105. Tomes, M. L., F. W. Quackenbush, and T. E. Kargl. 1959. Action of the gene B in biosynthesis of carotenes in the tomato. Bot. Gaz. 117: 248-253.
106. Uota, M. 1953. Temperature studies on the development of anthocyanin in McIntosh apples. Hort. Abst. 23: 49. (No. 279).
107. 和田水・服部恒代. 1953. アントシアニン (Anthocyanin) の Biogenesis に関する研究. オII報. 白菊の花よりアピゲニン - グルコサイドの単離. 資源研彙報, 32: 67-70.
108. White, D. G. 1953. Promotion of

- red color of apples. 2. Effects of preharvest sprays of certain chemicals in multiple combinations. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 61: 180-184.
109. Willstätter, R. und E. K. Bolton. 1916. Über ein Anthocyan der Winter-aster (*Chrysanthemum*). Ann. 412: 136-148.
110. Yasuda, H. 1964. Studies on the expression of color tone in rose petals. 1. Characteristic structure of the epidermis of petals in velvety dark red roses. J. Fac. Lib. Art. Sci. Shimshu Univ. 14: 31-37.
111. 宇田 齊, 1967. バラ花卉の色調発現の研究, (第5報) 赤色系花卉におけるアントシアンの量的効果に関する色彩科学的研究, 植 雑, 80: 357-362.
112. ———, 1973. 花色の生理, 生化学, 内田老鶴圃新社, 東京.
113. 宇田 真雄, 1928. Petunia violacea の受精力に関する生理学的研究 V. 土壤湿度と受精力との関係.

- 植 雑, 42: 317-325.
114. _____, 1932. 同, XI. 自家不
和合性に対する温度の影響. 同,
46: 679-689.
115. _____, 1951. 種子生産学,
養賢堂, 東京.
116. Yokoi, M. and N. Saito, 1973. Light
absorption patterns of intact rose flow-
ers in relation to the flower color.
Phytochem. 12: 1783-1786.

